

Proyecto Fin de Carrera

Caracterización experimental
de la atomización ultrasónica de líquidos
con partículas en suspensión

Autor

Alberto Ranz Elías

Directores

Juan Antonio García Rodríguez

José Luis Santolaya Sáenz

EINA

2014

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradecer tanto a mis padres Ángel y Raquel como a mis familiares Nuria y Román, por darme la oportunidad de realizar una carrera universitaria y acogerme en una ciudad nueva para mí.

A Juan Antonio García y Jose Luis Santolaya, director y codirector de este proyecto, por la ayuda continua prestada y por su manera de ser. Por el trato recibido y los momentos compartidos dentro y fuera del laboratorio.

A Jesús Salafranca, profesor del Departamento de Química Analítica, por la ayuda desinteresada en el diseño del proceso experimental, por prestar parte del material necesario para la realización de los experimentos y, sobre todo, por estar siempre disponible para sus alumnos.

A Gerardo García, dueño de Climatron Servicios, por la ayuda desinteresada y fabricación de un circuito electrónico necesario para el funcionamiento de la instalación.

A los trabajadores del Laboratorio de Investigación de Técnicas de Combustión (LITEC), por ayudar en la construcción de parte de la instalación experimental, y recibirnos a cualquier hora y en cualquier momento.

CARACTERIZACIÓN EXPERIMENTAL DE LA ATOMIZACIÓN ULTRASÓNICA DE LÍQUIDOS CON PARTÍCULAS EN SUSPENSIÓN

RESUMEN

Los procesos de atomización de líquidos tienen un papel muy destacado en la industria actual. La utilización de energía ultrasónica para atomizar tiene cada vez mayor interés dada la posibilidad de conseguir distribuciones monodispersas y con tamaño de gota controlado por la frecuencia de onda. La atomización en este tipo de sistemas se lleva a cabo mediante la excitación de un material piezoeléctrico capaz de generar una onda ultrasónica.

En este trabajo se ha realizado una exploración de la atomización ultrasónica en líquidos con partículas en suspensión. Este tipo de muestras no han sido objeto de estudio hasta ahora, ya que los líquidos explorados han sido sustancias puras o mezclas. Utilizando métodos experimentales, se ha realizado el estudio del comportamiento en función de la concentración de partículas y del voltaje de excitación del piezoeléctrico. Se han usado dos tipos de partículas: alúmina en polvo (Al_2O_3) de tamaño nominal $0.5\ \mu\text{m}$ y una poliamida comercial (orgasol) que consta de partículas esféricas de $60\ \mu\text{m}$.

Para el desarrollo de los experimentos se ha construido una instalación apropiada y se han definido y determinado los parámetros que permiten la caracterización del proceso de atomización. En particular, se ha determinado la tasa de atomización y se ha obtenido el voltaje mínimo necesario que produce dicho fenómeno para varias concentraciones de partículas.

Los resultados obtenidos revelan que la presencia de partículas en suspensión dificulta el proceso de atomización, con una notable reducción en la medida de masa atomizada. Por su parte, el aumento del voltaje de alimentación favorece la atomización de la muestra. No obstante, al aumentar la concentración también lo hace el voltaje mínimo para el cual se produce la formación de una nube de gotas. Además, en este trabajo se ha determinado la cantidad de sólido que es transportado por la masa atomizada. Los resultados indican que el porcentaje de sólido se incrementa cuando la concentración inicial de partículas en la muestra aumenta.

Muchas de estas medidas pueden considerarse el punto de partida para la caracterización de un proceso que todavía resulta muy desconocido y para el que no se existen explicaciones convincentes de ciertos fenómenos físicos.

ÍNDICE

1.	ATOMIZACIÓN Y ATOMIZADORES.....	3
1.1.	Atomización.....	3
1.2.	Tipos de atomizadores	3
1.3.	Atomización ultrasónica.....	6
1.4.	Aplicaciones de la atomización ultrasónica	7
1.5.	Dispositivos de atomización ultrasónica	9
1.6.	Materiales piezoeléctricos	12
2.	MONTAJE EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA DE ENSAYOS.....	13
2.1.	Instalación de atomización ultrasónica.....	13
2.2.	Equipo de filtración	16
2.3.	Equipo de secado	17
2.4.	Metodología de trabajo	18
3.	RESULTADOS	23
3.1.	Atomización de agua.....	23
3.2.	Atomización de suspensiones de poliamida	26
3.3.	Atomización de suspensiones de alúmina	27
3.4.	Presencia de sólido en la atomización de suspensiones de alúmina.....	28
3.5.	Influencia de la Temperatura	30
4.	CONCLUSIONES	32
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	34
	ANEXOS	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de dispositivos según la fuente de energía utilizada para la atomización.	4
Figura 1.2. Representación simbólica de la inestabilidad de ondas de superficie.....	7
Figura 1.3. Dispositivo de atomización de grandes volúmenes líquidos.....	10
Figura 1.4. Atomizador ultrasónico de onda estacionaria.	10
Figura 1.5. Atomizador ultrasónico	11
Figura 2.1. Esquema de la instalación de atomización ultrasónica.....	13
Figura 2.2. Transductor piezoeléctrico utilizado en los ensayos.....	14
Figura 2.3. Esquema de transformación de la señal de las células de carga.	15
Figura 2.4. Montaje experimental real.....	16
Figura 2.5. Equipo de filtración.	17
Figura 2.6. Equipo de secado.	18
Figura 2.7. Variación en el tiempo de la masa de suspensión durante la atomización.	19
Figura 2.8. Muestras no atomizadas antes de filtrar.	20
Figura 2.9. Secado de la muestras.....	21
Figura 3.1. Visualización de la secuencia de atomización de agua.	24
Figura 3.2. Resultados de tasas de atomización de agua.....	25
Figura 3.3. Tasas de atomización con suspensiones de poliamida en agua.	26
Figura 3.4. Tasas de atomización de suspensiones de alúmina.	27
Figura 3.5. Tasas de atomización de suspensiones de alúmina (comparación de voltajes).	28
Figura 3.6. Tasas de alúmina en la masa atomizada.	29
Figura 3.7. Baño termostático empleado para los ensayos de Temperatura.	30
Figura 3.8. Variación de la tasa de atomización con la Temperatura.	31

1. ATOMIZACIÓN Y ATOMIZADORES

1.1. Atomización

Se define atomización como el proceso por el cual una masa de líquido se disgrega formando ligamentos y gotas de un menor tamaño que las pertenecientes a la masa inicial. Esa disminución de tamaño se produce cuando las fuerzas de rotura (fuerzas centrífugas, aerodinámicas, de presión, etc.) son mayores que las fuerzas cohesivas del líquido (fuerzas intermoleculares y de tensión superficial)

Existen fenómenos en la naturaleza donde se produce la atomización de manera arbitraria (por la propia energía del fluido) como la formación de gotas en las cascadas. Sin embargo, la manera más habitual de producir este efecto es mediante un dispositivo denominado atomizador, que aplica una energía externa sobre la masa de líquido.

Múltiples factores y parámetros intervienen en el resultado de la atomización, entre las que cabe destacar las características propias del tipo y diseño de atomizador, las propiedades físicas del líquido atomizado y las de la fase continua que se utiliza como fluido auxiliar o que son propias del ambiente de inyección. Es por tanto, un proceso complejo debido a los numerosos mecanismos físicos que intervienen y la cantidad de parámetros necesarios para su caracterización.

Actualmente, los procesos de atomización tienen un papel destacado en la industria actual, principalmente en producción de energía, lubricación, aplicación de pinturas, agricultura, industria alimenticia o tratamiento de aguas. También en el campo de la medicina, donde se utiliza la nebulización de medicamentos para el tratamiento de enfermedades.

1.2. Tipos de atomizadores

Buena parte de los dispositivos de atomización basan su funcionamiento en lograr una elevada velocidad relativa entre el líquido y una corriente de aire o gas que le rodea. Unos atomizadores lo consiguen descargando el líquido a elevada velocidad en un ambiente prácticamente en reposo o con baja velocidad (“de presión”), y otros exponiendo una corriente de líquido de baja velocidad a otra de aire o gas moviéndose a gran velocidad (“de dos fluidos”). Otros métodos de atomización se basan en la generación de movimiento vibratorio o de campos electrostáticos y sobre ellos se están realizando trabajos de investigación que permiten ampliar cada vez más su utilización.

En la Figura 1.1 se muestran clasificados los dispositivos de atomización utilizados habitualmente a nivel industrial (Santolaya, 2004).











Clasificación de los dispositivos de atomización			
Energía de Presión suministrada al líquido <i>Atomizadores de Presión (P)</i>			
Simple (PH) 	Spray en abanico (PF) 	Con swirl (PS) 	Con placa de desviación (PD) 
Energía de Presión suministrada al gas <i>Atomizadores de dos fluidos (TF)</i>		Energía Centrífuga <i>Atomizadores de rotación (R)</i>	
De mezcla interna (TF ₁) 	De mezcla externa (TF ₂) 	De copa (RC) 	De brazos rotatorios 
Energía de Vibración <i>Atomizadores ultrasónicos (USV)</i>		Otras	
Alta frecuencia 	Baja frecuencia 	<i>Atomizadores efervescentes</i> <i>Atomizadores electrostáticos</i> <i>Atomizadores sónicos</i>	

Figura 1.1. Clasificación de dispositivos según la fuente de energía utilizada para la atomización.

Atomizadores de presión

El líquido se inyecta a través de una tobera de reducidas dimensiones, de forma que la energía de presión se convierte en energía cinética y el líquido se pulveriza en la expansión. El líquido se disgrega por efecto de la caída de presión a la salida del atomizador. El diseño de las vías internas del atomizador puede ser más o menos complejo, pero en muchos de ellos se direcciona el fluido a través de ranuras que le proporcionan una elevada velocidad de rotación. El diseño de la salida también es variable, permitiendo modelar la forma espacial del spray (por ej. en chorros atomizados en abanico).

Este tipo de sistema de atomización es bastante sencillo pero poco flexible para trabajar en amplios rangos de funcionamiento, ya que las variaciones de caudal se relacionan con una variación del cuadrado de la presión. Tiene por tanto, un campo de regulación muy limitado, que se trata de ampliar con variaciones en el diseño, como en el caso de los “atomizadores dúplex”, que disponen de varias líneas de alimentación, o los que se diseñan con línea de retorno.

Atomizadores de dos fluidos

El líquido se expone a la interacción de una corriente de aire (gas o vapor), con elevada velocidad relativa, que produce la rotura del líquido en pequeñas gotas. Hay diseños donde las corrientes se mezclan en el exterior del atomizador, y diseños de mezcla interior, que requieren de los mismos valores de presión de inyección de fluidos. Ambos modelos pueden atomizar de forma efectiva líquidos de viscosidad elevada. En el caso de los atomizadores de mezcla interna, la atomización se favorece con gases de densidad elevada y cámaras de mezcla largas.

Se suelen distinguir dos tipos de atomizadores según la velocidad del flujo de aire auxiliar. Los denominados “atomizadores asistidos” se caracterizan por utilizar pequeños caudales de aire con velocidades elevadas (sónicas), mientras que los denominados “de corriente de aire” emplean elevados caudales con velocidades más bajas (<100 m/s).

En muchos casos la entrada de líquido está condicionada a la aspiración que genera la corriente de aire, de acuerdo a un fenómeno denominado "efecto Venturi". La aplicación de este principio supone trabajar con pequeñas cantidades de líquido y una pulverización en gotas muy finas.

Atomizadores de rotación

En este tipo de atomizadores, el líquido llega a un elemento giratorio que se mueve a gran velocidad, recibiendo por tanto una elevada energía cinética que causa su desintegración.

Hay diferentes diseños del elemento rotatorio, si bien un modelo habitual es el de una copa troncocónica. En este tipo de sistemas, el fluido se inyecta a baja presión por el centro, se distribuye formando una película líquida bajo la acción de las fuerzas centrífugas y tras alcanzar el extremo se disgrega en pequeñas gotas. A veces se emplea un flujo de aire para modelar convenientemente el chorro atomizado resultante.

Por la ausencia de pequeños conductos y la estructura de la copa, se puede admitir fluidos de alta viscosidad. Además, permiten variar independientemente el caudal y la velocidad del elemento rotatorio, dando mayor flexibilidad de operación. Este tipo de atomizador es utilizado en instalaciones industriales de pintura.

1.3. Atomización ultrasónica

La atomización ultrasónica permite disgregar masas de líquido en partículas atómicas por medio de la energía ultrasónica. Para generar esa energía, se emplea un material piezoeléctrico, que al ser excitado con una señal eléctrica a frecuencias en el rango de MHz (Barreras et al., 2002), es deformado mecánicamente y produce dicha energía. La masa líquida la recibe y a partir de ahí es atomizada en gotas de tamaños menores a 5 μm .

Los orígenes de la atomización ultrasónica provienen del siglo XIX. Las ondas estacionarias producidas en la superficie de un fluido debido a un movimiento oscilatorio en dirección perpendicular a la superficie empezaron a ser estudiadas por Faraday (1831). Más tarde, en 1871, Kelvin pudo deducir que la longitud de onda de dichas ondas estacionarias dependía de las características del fluido y de la frecuencia de excitación.

La posibilidad de generar nubes de gotas por medio de ondas ultrasónicas fue estudiada por Wood y Loomis (1927). Durante un trabajo experimental con baños de aceites, generaban ondas acústicas de alta frecuencia con ayuda de un material piezoeléctrico excitado y las dirigían a la superficie de aceite de manera perpendicular. Observaron la aparición de gotas microscópicas.

Actualmente, los mecanismos que se consideran causantes de la aparición de este spray son dos: la inestabilidad de ondas capilares en la superficie del líquido y la cavitación. El estudio de la primacía de uno de estos dos mecanismos ha sido objeto de investigación a lo largo de los años, sin lograr dar una respuesta concluyente, por lo que en este momento se trata de conjuntar ambas posibilidades como fenómenos causantes de la atomización ultrasónica.

En la Figura 1.2 se muestra una representación visual del fenómeno de atomización ultrasónica sobre una superficie libre, descrita por Drews (1979) en sus estudios de inestabilidad de las ondas de superficie en atomización.

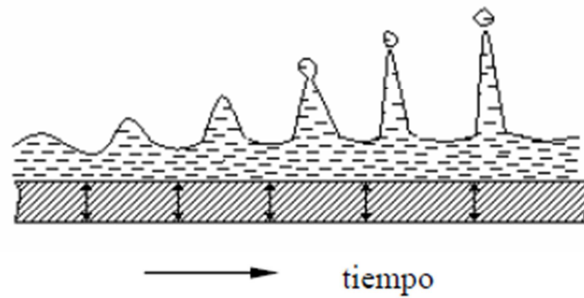


Figura 1.2. Representación simbólica de la inestabilidad de ondas de superficie.

Sobre la superficie de líquido en reposo inicialmente, y por efecto de las vibraciones ultrasónicas, se van formando unas ondas. A medida que se aumenta la frecuencia de esas vibraciones, la distancia entre dos crestas adyacentes se acorta y la altura de las propias ondas se ve aumentada hasta que sobre la superficie del líquido comienza a formarse un cono perpendicular a la misma, coincidiendo con la amplitud máxima.

De la parte superior de dicho cono, comienzan a desprenderse gotas de líquido atomizado simulando el efecto de un volcán en erupción de lava. Al ser la longitud de onda inversamente proporcional a la frecuencia, las altas frecuencias producen gotas muy pequeñas.

Si se considera la cavitación como fenómeno que interviene en la atomización ultrasónica, está aceptada y afianzada la idea de que las burbujas están sometidas a diferentes fuerzas que provocan la implosión de las mismas. Dos fuerzas sobre ellas compiten entre sí, por un lado la presión en su interior que tiende a dilatarlas y por otro la presión en su exterior ejerciendo fuerzas de compresión. Si entre estas fuerzas hay equilibrio, las burbujas permanecen en una composición uniforme. Pero la acción de las vibraciones por ultrasonidos provoca que las burbujas se encuentren sometidas constantemente a variaciones de presión, y su aumento de tamaño viene acompañado de la implosión (rotura de las burbujas de manera instantánea)

1.4. Aplicaciones de la atomización ultrasónica

Entre las aplicaciones de la atomización ultrasónica se pueden destacar procesos de combustión (quemadores y motores de combustión interna), refrigeración, lubricación, extinción de incendios, fumigación de pesticida y fertilizantes (tratamientos fitosanitarios en agricultura), tratamientos médicos por inhalación de medicamentos, recubrimiento de superficies en la fabricación de células fotovoltaicas y prevención en la dispersión de contaminantes. Algunas de estas aplicaciones están en fase experimental.

Aplicaciones médicas

Se enfoca el desarrollo de la tecnología en terapias de inhalación de medicamentos. En este ámbito es fundamental conseguir una distribución correcta del tamaño de gotas por medio de una atomización fina con el fin de impregnar por completo las vías respiratorias del paciente.

En un segundo plano queda su utilización en sistemas de anestesia. Los atomizadores ultrasónicos facilitan la regulación de la dosis necesaria para anestesiarse y no interfieren en la respiración del paciente en el momento del tratamiento.

Procesos de combustión

La uniformidad del tamaño de gota conseguido en combustibles líquidos y su eficiencia hace que esta tecnología sea ventajosa respecto a la atomización convencional. Las gotas generadas son quemadas fácilmente produciendo llamas de alta calidad y sin apenas formar residuos contaminantes gaseosos ni sólidos. Experimentos realizados en "The Fuels and Combustion Laboratory", en la Universidad de Pennsylvania, (Berger, 1984) indicaron que la baja velocidad del spray es un factor clave en el diseño de sistemas avanzados de extinción de incendios.

Secado de materiales

El proceso de secado consiste en atomizar una disolución o suspensión con atomizadores de presión y descargarla en un reactor donde hay circulación de aire caliente a alta velocidad. Las gotas atomizadas rotan alrededor del flujo de aire caliente secándose de manera casi instantánea, recogiendo el producto en la cámara del reactor. La variable a manipular es el flujo de aire, para conseguir que las gotas atomizadas se mantengan suspensión el mayor tiempo posible con el fin de secar todo el producto.

Aplicaciones agrícolas

Estudios realizados en la Facultad Agrónoma de la Universidad Católica de Louvain (Bélgica) comparan la utilización de atomizadores ultrasónicos con los atomizadores de presión y estudian sus propiedades para un tratamiento fitosanitario particular: eliminación de malas hierbas de una plantación mediante un herbicida. El experimento consiste en seguir la evolución de la eficacia del tratamiento (porcentaje de hierbas malas eliminadas respecto a las hierbas sanas iniciales) en función de la dosis de herbicida y de la técnica de atomización empleada.

De los resultados obtenidos se detectó una mayor eficacia de la atomización ultrasónica, además de consumir una menor cantidad de herbicida. Una mayor fijación del producto sobre las plantas y la menor propagación del mismo provocan la mayor eficiencia de atomizar por ultrasonidos. Estos aspectos tan importantes a la hora de tratar productos químicos capaces de dañar el medio ambiente, provocan que su estudio sea importante para obtener nuevas aplicaciones del mundo agrícola.

Humidificadores de aire

Acondicionar el aire en los locales habitados para obtener condiciones de humedad y temperatura idóneas para el ser humano es otra de las aplicaciones. En algunos casos, obtener esas condiciones óptimas requiere un aumento de la humedad, cosa que se consigue atomizando agua para generar gotas finas en el ambiente. Las gotas formadas por medio de la atomización ultrasónica (pequeño tamaño y distribución) se evaporan instantáneamente y son las preferidas para humidificar ambientes. En el mercado actual existen humidificadores ultrasónicos de gran eficacia.

1.5. Dispositivos de atomización ultrasónica

Berger (1984) realizó un estudio comparativo entre atomizadores convencionales y atomizadores ultrasónicos. Entre las conclusiones que pudo obtener están las siguientes:

- En aplicaciones de recubrimiento superficial, los atomizadores de alta velocidad son ineficaces, ya que el fuerte impacto de las gotas sobre las superficies provoca erosión de los propios materiales de revestimiento y la pérdida de material.
- Los atomizadores de presión presentan problemas de obturación en los estrechamientos de los orificios que generan las altas presiones. Impurezas o materia en suspensión pueden llegar a obstruir los canales por los que circula el líquido atomizado. Cuando la obstrucción se da de manera parcial, repercute en la deformación del aerosol y en la deformación de las gotas atomizadas, que dejan de tener el tamaño deseado. El caso límite es una obstrucción total, con la que el atomizador queda inservible.
- Los atomizadores convencionales están sometidos a abrasión y corrosión por culpa de las posibles partículas presentes en el líquido a atomizar. Carbón y óxido de aluminio son dos de los principales culpables de este efecto negativo.

Estas limitaciones no existen en un atomizador ultrasónico ya que el principio de funcionamiento se basa en la generación de ondas capilares en la superficie del líquido como resultado de las vibraciones ultrasónicas de un material piezoeléctrico.

Dependiendo de la forma de generar la energía ultrasónica se pueden diferenciar varios casos de atomización y varios tipos de dispositivos:

1) Atomización de grandes volúmenes de líquido

El dispositivo se encuentra sumergido dentro de una cubeta junto con el líquido a atomizar (Figura 1.3). Se encuentran enfrentados entre sí un transductor emisor de ondas ultrasónicas y una superficie cóncava que concentra las ondas recibidas en un punto donde se genera el spray de líquido atomizado.

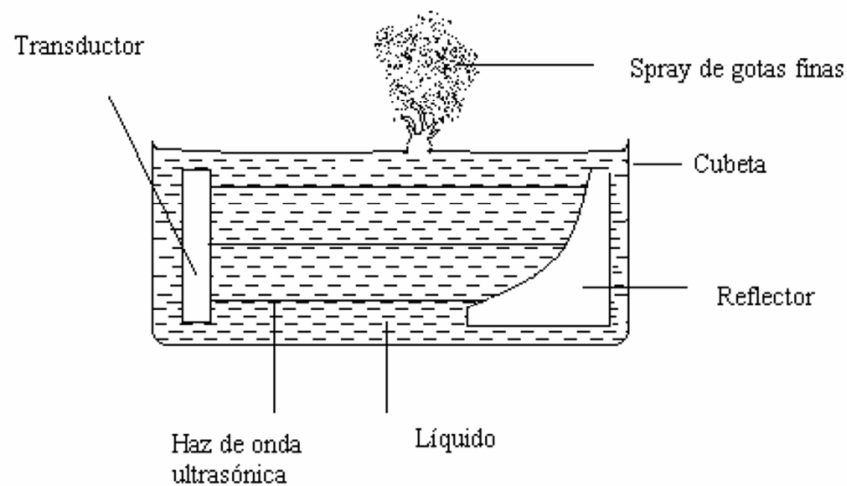


Figura 1.3. Dispositivo de atomización de grandes volúmenes líquidos.

La mayor ventaja de este sistema es la posibilidad de controlar de manera independiente el diámetro medio de las gotas atomizadas por un lado y la concentración de las mismas por otro, por medio de las variaciones de la frecuencia de trabajo y el volumen de gas de dispersión de las gotas. El inconveniente es la gran cantidad de energía que consume.

2) Atomización de chorros líquidos

Como se puede observar en la Figura 1.4, un material piezoeléctrico va conectado a un amplificador en uno de los extremos del montaje. A continuación va colocado un platillo emisor de ondas enfrente a un espejo reflector y entre ellos se localiza un distribuidor para garantizar la uniformidad de chorros líquidos.

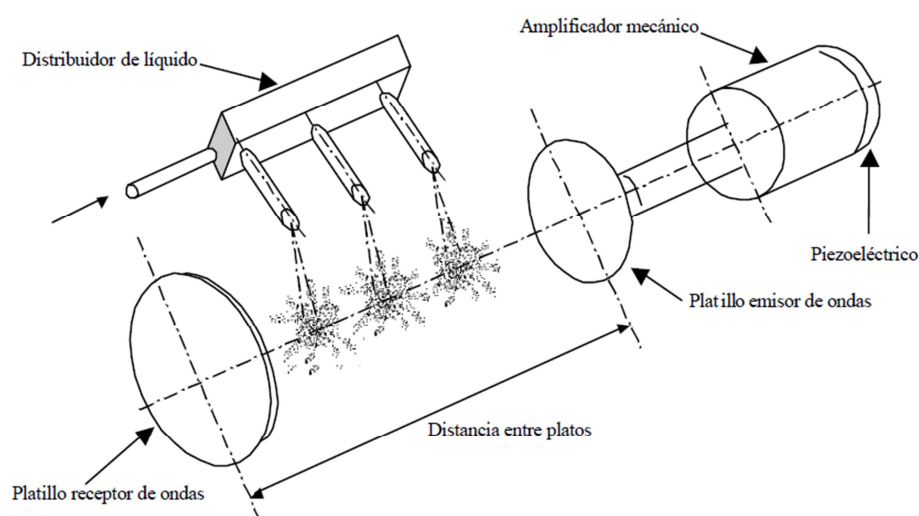


Figura 1.4. Atomizador ultrasónico de onda estacionaria.

Se crea una onda ultrasónica de alta intensidad en el aire que es reflejada por el espejo, provocando la generación de una onda estacionaria. En la cresta de esta onda estacionaria el líquido se atomiza.

La principal ventaja de estos dispositivos es que permiten la atomización de líquidos de viscosidad moderada (mayores a 20 cSt) a la vez que permite atomizar grandes caudales. Como inconveniente, este sistema no tiene un gran rendimiento.

3) Atomización de láminas líquidas de pequeño espesor

En este caso, el líquido contenido en un recipiente se somete a una fuerza transversal desde la parte inferior. Este tipo de acción procede de las vibraciones de una superficie sólida (piezoeléctrico, generador de ultrasonidos).

En función de la amplitud de desplazamiento de la superficie sólida se producen gotas atomizadas por dos factores:

- Para amplitudes de desplazamiento inferiores a 15 μm , las gotas se forman por efecto de las ondas ultrasónicas.
- Para amplitudes superiores a 15 μm , la formación de gotas es resultado tanto de las ondas como de efectos de cavitación ultrasónica.

La frecuencia de trabajo es del orden de los kHz, y los voltajes de alimentación del piezoeléctrico entre 20 y 100 V.

Algunas características destacables de este sistema son las siguientes:

- La formación de gotas atomizadas se produce cuando la vibración del material piezoeléctrico alcanza un cierto valor mínimo, que según estudios (Lang, 1962) se estima en amplitudes de 2 μm para líquidos poco viscosos.
- Gotas formadas son de tamaño uniforme en gran medida.
- Moderado consumo de energía en el proceso.

En la Figura 1.5 se muestra el dispositivo empleado por Howard (2010) en sus estudios sobre atomización ultrasónica.

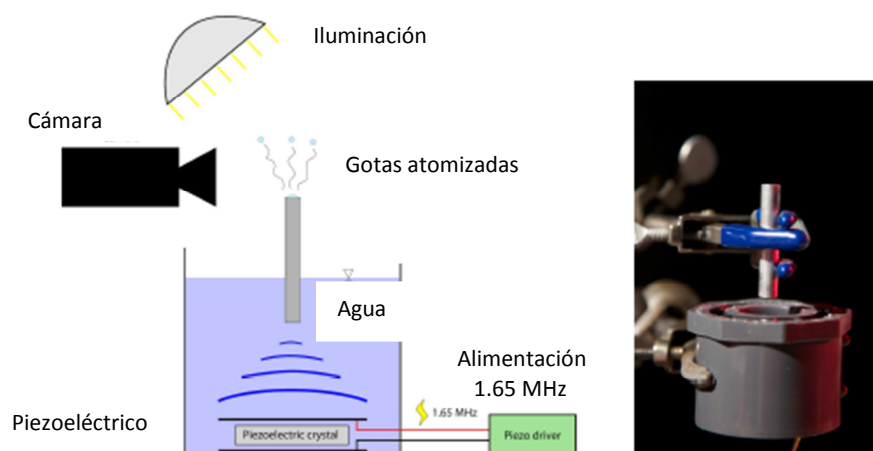


Figura 1.5. Atomizador ultrasónico

Este método de atomización es el utilizado en este proyecto, introduciendo una importante novedad: la utilización de volúmenes de líquido con materia en suspensión.

1.6. Materiales piezoeléctricos

A mediados del siglo XX se produce un avance tecnológico importante en el campo de la sintetización de cerámicas piezoeléctricas, las cuales se podían fabricar con las dimensiones apropiadas para cada aplicación. La primera piezocerámica empleada fue el titanato de bario. En la década de los 60 se presentó un material con características piezoeléctricas mejoradas: el titanato circonato de plomo, o PZT, que es la base de la gran mayoría de las piezocerámicas empleadas en la actualidad.

Los cristales naturales tales como el cuarzo, presentan el efecto piezoeléctrico, mientras que las piezocerámicas, como el PZT, están basadas en el efecto ferroeléctrico. Dicho efecto se explica de la siguiente manera: en su estado natural, la estructura cristalina es eléctricamente neutra. Sin embargo, la deformación mecánica produce un desplazamiento del centro de cargas positivas con respecto al centro de cargas negativas, lo que da lugar a la aparición de un campo eléctrico. Y a la inversa, la aplicación de un campo eléctrico desplaza las cargas de un signo con respecto a las cargas del otro signo, originando una deformación mecánica (Yang, 2006).

De las sustancias sintéticas, las que han encontrado mayores aplicaciones son las cerámicas. Estas cerámicas son ferroeléctricas y para conseguir su polarización y que cumplan su función se les somete a un campo eléctrico durante su fabricación a temperatura ligeramente inferior a la temperatura de Curie, aplicando una diferencia de potencial que depende del espesor. Luego se enfrían manteniendo aplicado el potencial, de manera que al cesar éste, los monocristales no se puedan desordenar totalmente de nuevo debido a las tensiones mecánicas acumuladas, quedando una deformación remanente y una polarización remanente. Este tratamiento de polarización confiere a los materiales la propiedad de piezoelectricidad en cualquiera de sus direcciones.

Físicamente, las cerámicas piezoeléctricas son materiales duros, químicamente inertes e insensibles a la humedad y agentes atmosféricos cualesquiera. Tienen además gran estabilidad térmica y física, pueden fabricarse en muy distintas formas y con un amplio margen de valores en sus parámetros de interés (constante dieléctrica, coeficientes piezoeléctricos, temperatura de Curie, etc).

Como principales inconvenientes se pueden citar la sensibilidad térmica de sus parámetros y su susceptibilidad de pérdida de las propiedades piezoeléctricas si su temperatura se acerca a la temperatura de Curie. De entre las cerámicas sintéticas piezoeléctricas, las más empleadas son el titanato circonato de plomo (el ya citado PZT), el titanato de bario (BaTiO_3) y el metaniobato de plomo (PbNb_2O_6).

2. MONTAJE EXPERIMENTAL Y METODOLOGÍA DE ENSAYOS

Tanto el montaje experimental como el desarrollo de los ensayos se han llevado a cabo en el Laboratorio de Atomización de Mecánica de Fluidos de la EINA. Los experimentos incluyen ensayos de atomización, filtrado y secado de muestras.

La atomización se realiza con líquidos y suspensiones utilizando un sistema de ultrasonidos. Mediante un equipo de filtración se separa la masa de sólido en suspensión del líquido y se observa su variación respecto a la masa inicial. Finalmente, las muestras son recogidas para eliminar la humedad de las mismas utilizando un desecador a vacío.

2.1. Instalación de atomización ultrasónica

Para realizar los ensayos de atomización, se ha diseñado y montado una instalación cuyos componentes principales se muestran en la Figura 2.1. Se compone de un recipiente de paredes transparentes que permite contener el líquido o suspensión de ensayo. En la parte inferior se sitúa el dispositivo piezoeléctrico conectado a una fuente que permite controlar la tensión de alimentación. Este recipiente de ensayos se apoya sobre un conjunto de células de carga que miden el peso del conjunto. Un sistema de extracción aspira la niebla de gotas más finas formadas en los procesos de atomización impidiendo que ésta retorne al volumen líquido.

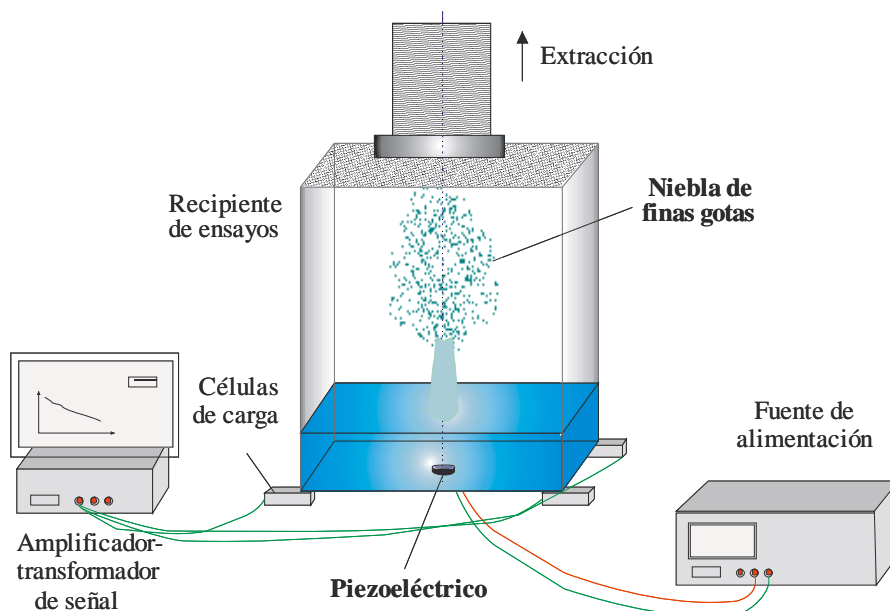


Figura 2.1. Esquema de la instalación de atomización ultrasónica.

1) Recipiente de ensayos

Es de sección cuadrada (180 x 180 mm) y está construido en polimetacrilato de metilo (PMMA). En el fondo se fija el dispositivo piezoeléctrico y en la parte superior se sitúa una malla de filtrado que impide la salida del recipiente de gotas de gran tamaño. Las dimensiones y aspectos constructivos pueden consultarse en el Anexo I.

2) Transductor piezoeléctrico

Este dispositivo es un generador de ondas ultrasónicas basado en la propiedad de la piezoelectricidad. Transforma la energía eléctrica de la onda del oscilador en una deformación mecánica de alta frecuencia. La orientación de las partículas que componen el piezoeléctrico está determinada, de manera que al ser sometidas a un campo eléctrico se produce una deformación uniforme y de gran magnitud.

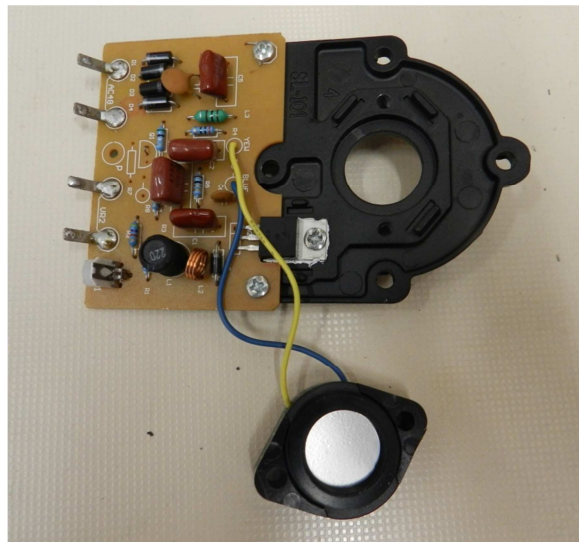


Figura 2.2. Transductor piezoeléctrico utilizado en los ensayos.

Cuando el dispositivo es conectado a una fuente, la energía recibida provoca que el disco vibre con mayor o menor intensidad, en función del voltaje. De acuerdo con las especificaciones técnicas (Anexo I), el funcionamiento siempre se debe producir con el disco inmerso en el fluido de ensayos, para evitar el sobrecalentamiento.

3) Fuentes de alimentación

La fuente que alimenta al piezoeléctrico es una fuente externa, modelo GPR-6030D, cuyo rango de aplicación de salida de voltaje está entre 0 V y 60 V (Anexo I). Para alimentar el sistema de células de carga se utiliza una fuente de alimentación continua de 12V.

4) Células de carga

Las células de carga están constituidas por cuatro galgas extensiométricas situadas en cada una en las esquinas inferiores de la cubeta de ensayos. Cada una realiza su función de manera independiente convirtiendo la fuerza debida al peso en una señal eléctrica. Están fabricadas en aluminio, el peso máximo tolerable de cada célula es de 0.6 Kg y su error de medida es de 0.0067% respecto a la señal de salida (Anexo I).

Su configuración interna se basa en un circuito electrónico formado por un puente de Wheatstone. La señal de salida de las células es del orden de milivoltios y debe ser amplificada para hacer su lectura. Para ello, a la salida de cada una de las células se ha conectado un amplificador de señal. A continuación, se ha construido y montado un circuito que permite enviar y recibir señales digitales mediante un ordenador.

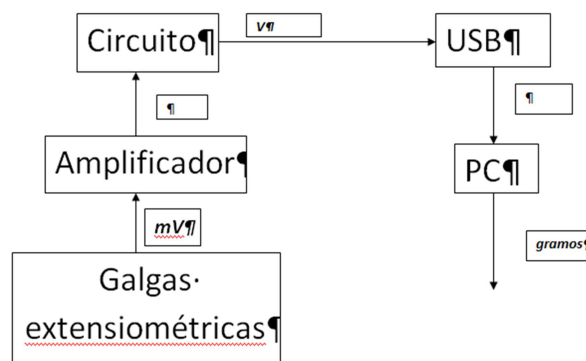


Figura 2.3. Esquema de transformación de la señal de las células de carga.

La señal analógica medida por las galgas es convertida en una señal digital a través de un circuito específicamente elaborado para esta función (Anexo I), y es leída por el ordenador mediante un aplicación desarrollada en Visual Basic. De manera reversible, la señal del ordenador es transformada por el convertidor A/D para enviarla a las galgas y poder realizar con ellas funciones como inicializar un peso a cero, grabar las señales de salida o definir diferentes intervalos temporales de medida para diferentes muestras. Todos los componentes del circuito electrónico realizado específicamente para este proyecto se pueden consultar en el Anexo I.

5) Sistema de extracción

La masa atomizada en los experimentos es retirada de manera continua por un sistema de extracción que actúa en la parte superior de la cubeta. Además, una malla filtradora evita que gotas de gran tamaño, no procedentes de la formación de niebla fina, salgan del sistema. A la vez, permite la entrada de aire desde el exterior y evita que se creen sobrepresiones dentro de la cubeta, falseando las medidas de masa atomizada.

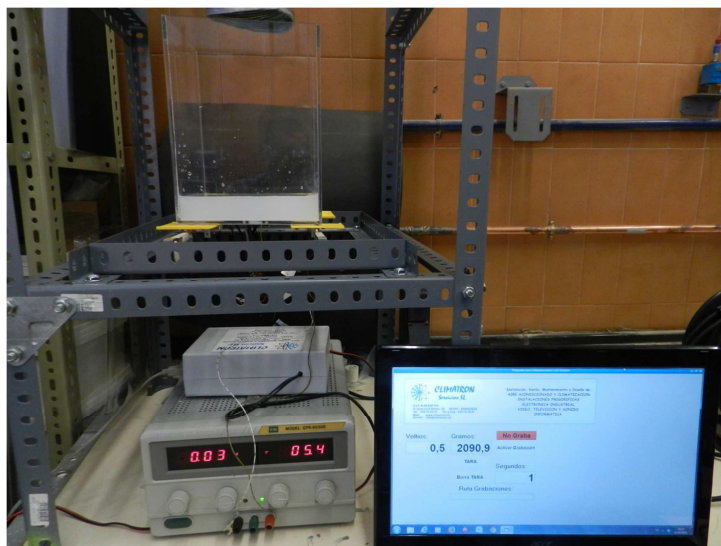


Figura 2.4. Montaje experimental real.

2.2. Equipo de filtración

La separación de partículas sólidas de un líquido se lleva a cabo haciendo pasar el fluido a través de un medio filtrante sobre el que se depositan los sólidos. El fluido circula a través del medio filtrante por diferencia de presión a través del medio.

Los equipos de filtración pueden ser de diferentes tipos: los que operan con una sobrepresión aguas arriba del medio filtrante, los que lo hacen a presión atmosférica aguas arriba del medio filtrante y los que operan a vacío aguas abajo del medio filtrante. Además, pueden ser continuos o discontinuos, dependiendo de si la descarga de los sólidos extraídos se realiza de manera continua o intermitente.

En este caso, se ha utilizado un proceso de filtración a presión (conectando una trompa de vacío por el conector de succión) y se realiza de forma discontinua, teniendo que parar el proceso para cambiar el filtro en cada experiencia.

El equipo de filtración empleado es para membranas y fabricado en vidrio borosilicato. Consta de un matraz de filtración, un cuerpo con placa porosa de vidrio, un embudo (depósito graduado) y adicionalmente se coloca el papel de filtro (constituidos por membrana de nylon que permiten retener partículas de hasta 0.2 micras). Es necesario utilizar este equipo de filtrado especial al trabajar con alúmina cuyo diámetro de partícula es de 0.5 micras. Un filtrado convencional no cumpliría las expectativas de este tamaño de partícula.

Todas las muestras de líquido atomizadas se recogen previamente en matraces aforados de 1 l. A partir de esas muestras patrón se toman dos alícuotas de 250 ml y se procede a su filtración.

En la Figura 2.5 se muestra el equipo de filtrado empleado durante los ensayos.

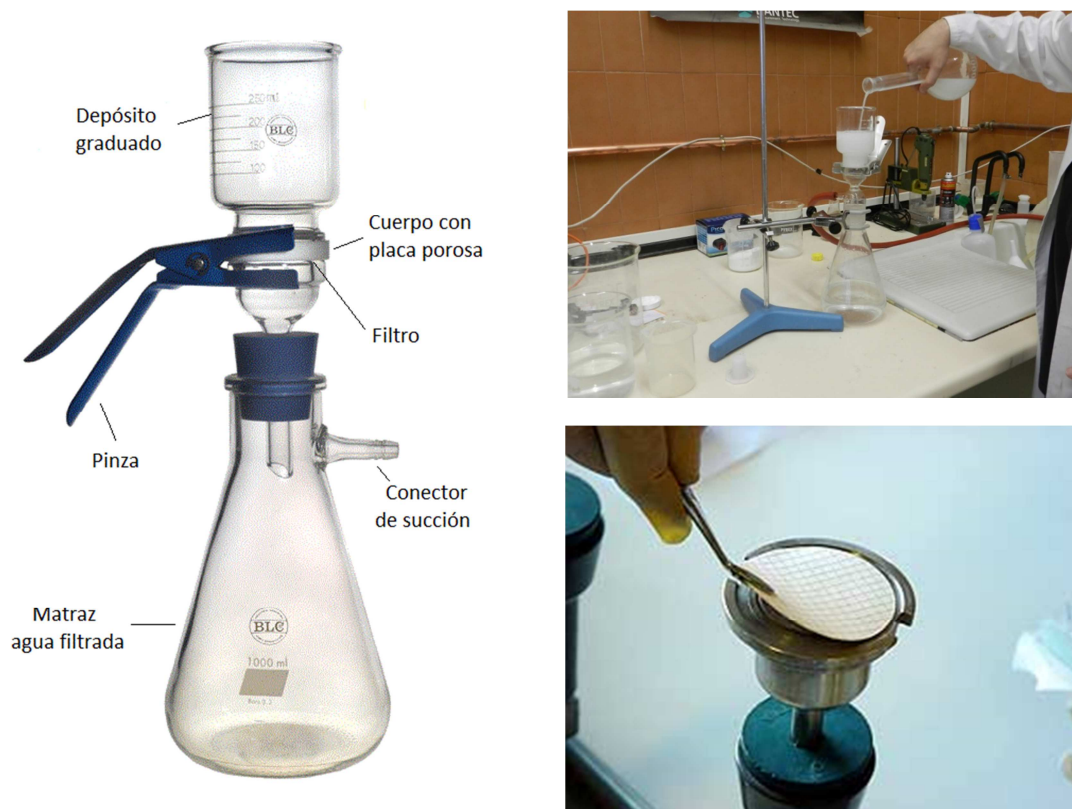


Figura 2.5. Equipo de filtración.

La suspensión a filtrar se vierte en el depósito graduado de la parte superior del montaje, y atraviesa el filtro situado sobre la placa porosa. El líquido pasa a su través y la parte sólida (alúmina) queda retenida en el filtro. El proceso se realiza a presión, gracias al tubo de succión con el que cuenta el equipo, para acelerar el proceso y poder retener una mayor cantidad de sólido.

2.3. Equipo de secado

El desecador utilizado es un recipiente de vidrio, herméticamente cerrado con un depósito inferior en el que hay cristales de cobre. Estos cristales absorben la humedad del ambiente, en este caso de las muestras filtradas, y cambian de color (de azul a rojo), lo que es un indicativo de que toda la humedad de las muestras ha sido eliminada.

Se utiliza un desecador a vacío como el de la Figura 2.6. Se introducen los papeles de filtro junto con el sólido retenido en el desecador y se dejan en su interior un tiempo mínimo de 4 horas.



Figura 2.6. Equipo de secado.

2.4. Metodología de trabajo

Se procede a describir el transcurso completo del proceso experimental, desde la puesta en marcha del equipo hasta la recogida de resultados final de un experimento en particular, ilustrando los diferentes datos obtenidos y mostrando los cálculos a realizar.

Como ejemplo se muestra el procedimiento seguido para el experimento realizado con suspensión de alúmina de concentración 0.8 g/l, atomizado a un voltaje de 55 V. El objetivo es calcular la cantidad de sólido (alúmina) eliminado en el proceso de atomización, para ello se determina la cantidad de sólido NO atomizado, y su diferencia respecto de la cantidad inicial es la masa de sólido atomizado.

1) Preparación de suspensiones

Se preparan 5 l de cada suspensión y de ella se van extrayendo muestras de 1 l que se irán atomizando al voltaje requerido. En este caso particular, se pesan 4 g de alúmina en polvo (3.9937 g) y se añaden al volumen de 5 l de agua. Se toma una alícuota de 1 l, se agita vigorosamente para homogeneizar la suspensión y con la probeta se adiciona en el interior de la cubeta.

2) Ensayo de atomización

A continuación, se atomiza la suspensión de 1 l que se encuentra en el interior de la cubeta, aplicando un voltaje de 55 V al piezoeléctrico. Al mismo tiempo que comienza la atomización, se enciende el ventilador que extrae la masa atomizada de manera continua. Durante el proceso de atomizado, que se establece que dure un mínimo de 5 minutos y un máximo de 10, las células de carga registran una medida de masa del interior de la cubeta cada segundo. En la Figura 2.7 se muestra la evolución temporal de la masa medida por las células de carga.

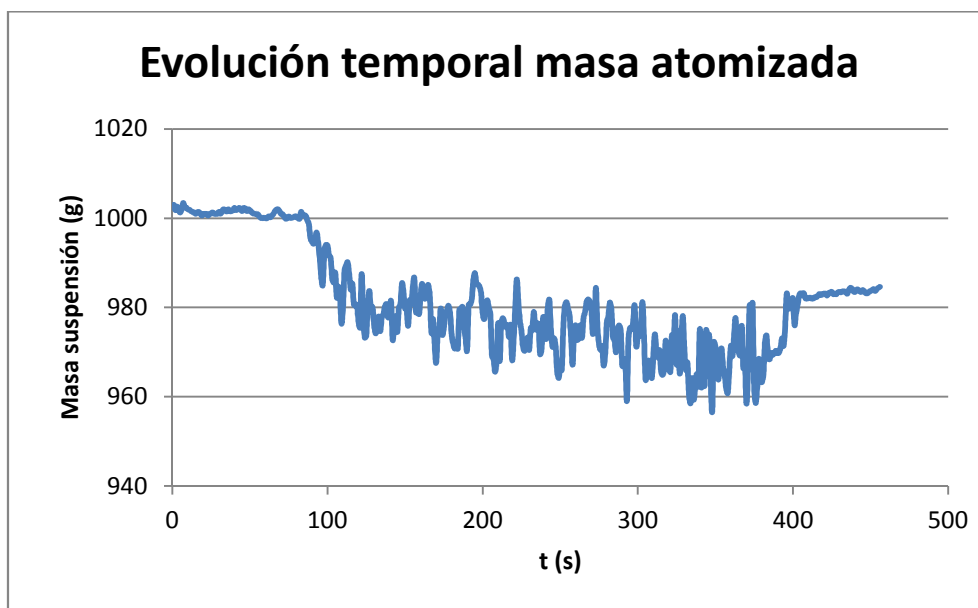


Figura 2.7. Variación en el tiempo de la masa de suspensión durante la atomización.

Se puede apreciar claramente la sensibilidad de las células de carga. Comentar que las fluctuaciones son en buena parte debidas a las vibraciones transmitidas por el ventilador, que a pesar de que fueron minimizadas, no fueron completamente eliminadas, y que al trabajar las galgas con impulsos electromagnéticos, son susceptibles de cualquier cambio magnético en el entorno, cosa que sucedió cuando en el laboratorio se ponían en marcha varios equipos a la vez.

3) Determinación de la tasa atomizada

Al finalizar la atomización, se puede calcular la tasa atomizada (g/s) dividiendo la masa que desaparece del sistema durante el proceso (masa atomizada) entre el tiempo que dura la atomización. En este caso particular:

Voltaje (V)	M_{in} (g)	M_f (g)	M_{atomiz} (g)	t (s)	tasa (g/s)
55	1000,7	983.6	17.1	300	0.0570

4) Filtrado de la suspensión no atomizada

A continuación, la suspensión restante en la cubeta de ensayos (lo que no se ha atomizado) se vierte en un matraz aforado de 1 l y se enrasa con agua. Es un punto delicado y se debe hacer con cautela, limpiando bien las paredes de la cubeta para arrastrar todo el sólido al matraz, evitando pérdidas que puedan condicionar el resultado del filtrado. De cada muestra de líquido no atomizado, se toman dos alícuotas de 250 ml de manera independiente, que se filtran por separado en el equipo destinado a ello. Esto supone evitar la saturación de los filtros y disminuir el tiempo de filtrado. Se comprobó que era reproducible.

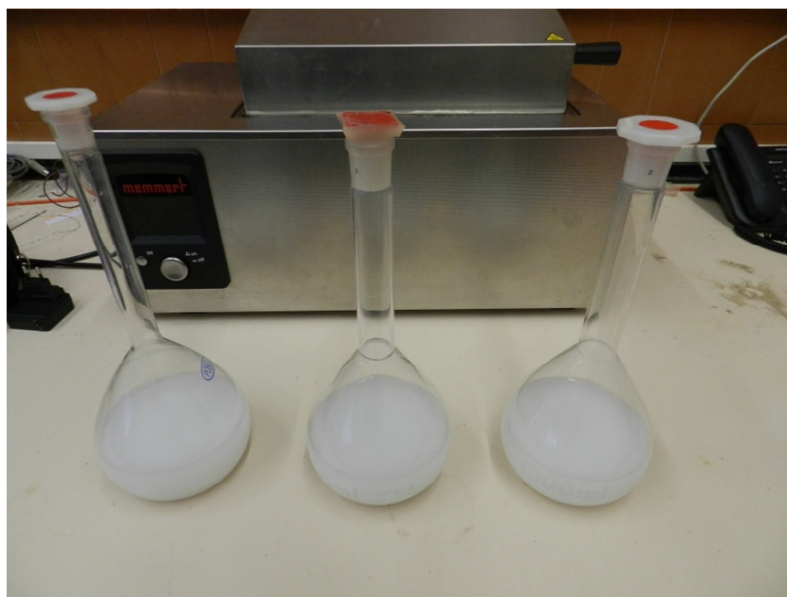


Figura 2.8. Muestras no atomizadas antes de filtrar.

Importante es la agitación vigorosa de las alícuotas previas al filtrado, para intentar que sean lo más homogéneas posibles, ya que del resultado obtenido se hace una extrapolación para calcular la masa de sólido restante.

El filtrado se acelera conectando una trompa de succión en el matraz de recogida. Como se ha comentado, de cada ensayo de atomización se realizan dos filtrados, con lo que se tendrán dos resultados de masa no atomizada por ensayo para poder pulir posibles errores en la realización de la experiencia. El número de filtrados realizados a lo largo de este proyecto, entre pruebas y tomas de datos, ha superado la centena. El tiempo total de ensayo para una concentración (incluyen 5 procesos de atomización), desde la preparación de las muestras hasta la recogida del papel de filtrado con el sólido en superficie se estima en 2 h.

Previo al filtrado, se realiza la medida de la masa de los filtros, que se restará de la masa final y así obtener la cantidad de sólido seco que había inicialmente en la cubeta (tras el ensayo de atomización).

5) Secado de muestras

Tras filtrar y recoger el papel de filtro húmedo que contiene la alúmina, se procede al secado de la muestra para eliminar la humedad.



Figura 2.9. Secado de la muestras.

Este proceso dura unas 4 horas, pero se tiene capacidad para secar muestras de 5 atomizaciones (10 alícuotas) a la vez, justo las de un barrido de voltaje (40, 45, 50, 55, 60 V) para una concentración determinada de alúmina. De esta manera, el tiempo total para un ensayo de una concentración se estima en 6 h.

Como resultado, se obtiene una masa de sólido (media aritmética de dos medidas) en cada alícuota de 250 ml que se extrapola a un Volumen de 1 l (se multiplica por 4 el valor obtenido). Ese valor de masa de alúmina en una muestra de 1 l se resta de la cantidad inicial de alúmina en la muestra antes de la atomización (en este caso concreto 0.8 gramos de alúmina) y así se obtiene la cantidad de alúmina que se ha perdido en el proceso de atomización. Este dato se puede expresar como tasa (g/s).

Para el caso que se está describiendo, los resultados son los siguientes:

Datos de partida	
Masa sólido inicial (g)	3.9937
Volumen agua (L)	5
C (g/L)	0.79874

Datos finales						
M_{filtro} (g)	$M_{\text{filtro+sólido}}$ (g)	Alicuota 250 ml	1 l	M_{atom} (g)	Tasa sólido atomizado (g/s)	Tasa agua atomizada (g/s)
		$M_{\text{sólido}}$ (g)	$M_{\text{sólido}}$ (g)			
0.1139	0.2635	0.1496	0.5984	0.2003	$6.678 \cdot 10^{-4}$	$5.633 \cdot 10^{-2}$

En cada muestra de 1 l, tras la atomización, en condiciones ideales de homogeneidad, hay 0.7987 gramos de sólido. La diferencia del sólido recogido tras el secado y ese valor, es la cantidad de sólido perdida en el proceso de atomización, en este caso un valor de 0.2003 gramos. Expresado en forma de tasa atomizada, tiene un valor de $6.678 \cdot 10^{-4}$ g/s.

Y expresado en % de tasa atomizada:

Datos finales	
% solido atomizado	% agua atomizada
1.17	98.83

3. RESULTADOS

Los resultados que se detallan a continuación se han obtenido con tres tipos de muestras problema:

- Agua destilada, para tener punto blanco de partida.
- Suspensión de agua y poliamida con una concentración de 0.4 g/l.
- Suspensiones de agua y alúmina en concentraciones de 0.2, 0.4 y 0.8 g/l.

Para cada una de estas muestras problema, se han determinado experimentalmente los siguientes parámetros:

- Agua: Tasa de líquido atomizado (g/s).
- Suspensión de Poliamida: Tasa de atomización (g/s).
- Suspensiones de Alúmina: Voltaje mínimo de atomización, tasa atomizada (g/s), % de sólido en la tasa atomizada ($\frac{g_{\text{sólido}}}{g_{\text{agua+sólido}}}$), tasas de atomización (g/s) a diferentes temperaturas.

Se realizan dos ensayos por muestra para la suspensión de poliamida y tres en el caso de las muestras de agua y de las suspensiones de alúmina, de forma que los resultados aquí presentados son una media aritmética de los obtenidos en experimentos individuales, trabajando en las mismas condiciones.

3.1. Atomización de agua

A través del montaje experimental descrito en el punto anterior, se han realizado ensayos de atomización de agua alimentando el dispositivo piezoeléctrico a diferentes voltajes.

Todos los ensayos se han realizado con un Volumen fijo de fluido. Este Volumen ha sido de 1 l y por tanto la altura de la lámina de líquido que queda sobre el dispositivo piezoeléctrico ha sido de 3 cm, de acuerdo con las especificaciones técnicas del fabricante (Anexo I).

El rango de variación del voltaje se mueve desde 0 hasta 60 V. No obstante, sólo a partir de un determinado voltaje se puede apreciar la formación de una nube de gotas finas. A pequeños voltajes se observa el desarrollo de un cono sobre la superficie libre del líquido (en la vertical del piezoeléctrico) que se hace inestable e incrementa la proyección de líquido en la parte superior cuando el voltaje se incrementa. Esta evolución se muestra en la Figura 3.1.

Esta evolución en la inestabilidad de la superficie libre, también fue observada en los experimentos con suspensiones de alúmina en agua, revelando cambios en el voltaje mínimo para el cual se podía detectar la formación de una niebla de gotas.



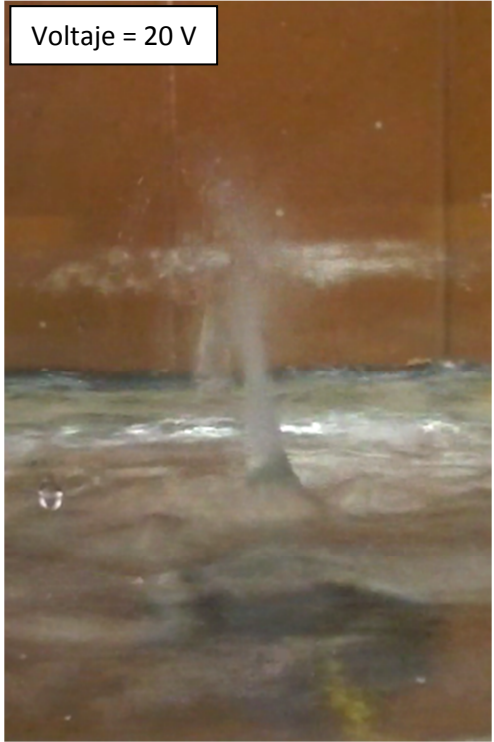
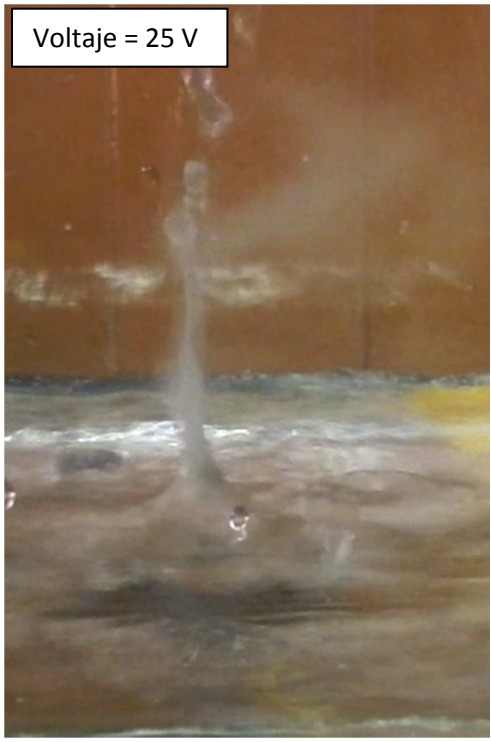
Evolución de la inestabilidad en el líquido al aumentarel voltaje. Agua destilada	
<p>Voltaje = 10 V</p> 	<p>Voltaje = 15 V</p> 
Formación de un cono regular	Cono inestable
<p>Voltaje = 20 V</p> 	<p>Voltaje = 25 V</p> 
Incremento de la proyección de líquido	Formación de una nube de gotas finas

Figura 3.1. Visualización de la secuencia de atomización de agua.

2) Tasas de atomización

Se han determinado las tasas de atomización de agua en función del voltaje de alimentación del dispositivo piezoeléctrico. Los resultados se muestran en la Fig. 3.2. Los voltajes se encuentran dentro del rango 40 - 60 V. Este rango es el utilizado para mostrar los resultados en el resto de experimentos de este proyecto y puede permitir su comparación.

La experiencia se realiza en dos situaciones diferentes: con la cubeta de ensayos abierta por la parte superior y utilizando una malla de filtrado.

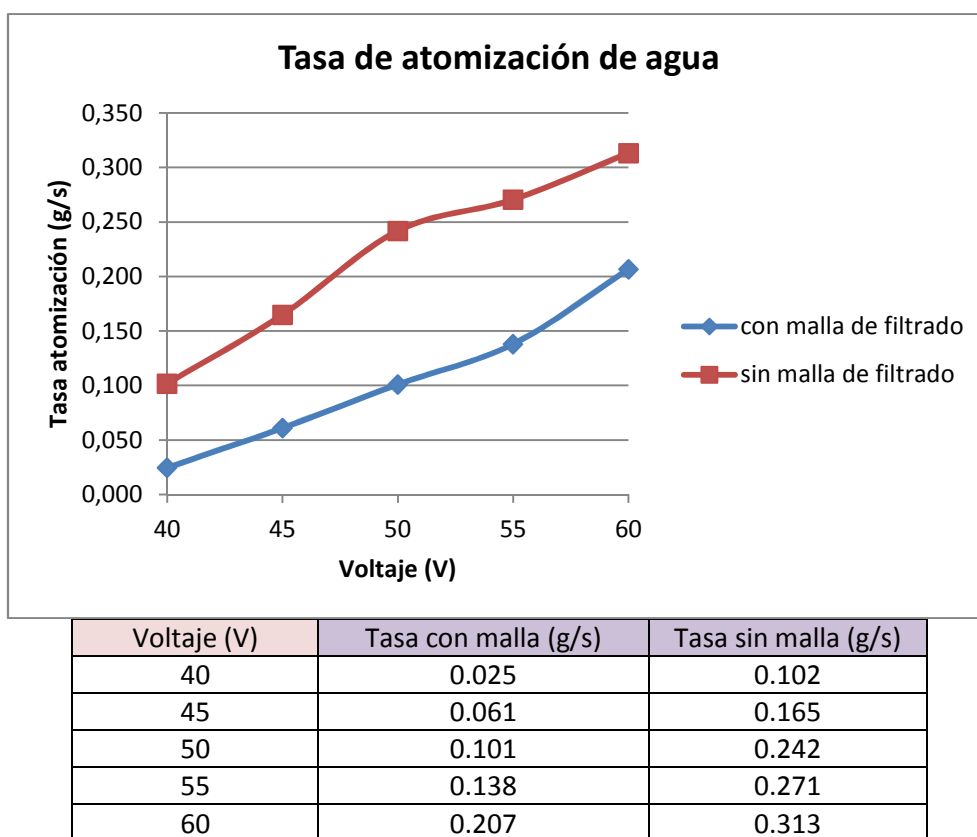


Figura 3.2. Resultados de tasas de atomización de agua.

Se puede apreciar una variación importante en las tasas de atomización obtenidas en función de incluir o no la malla de filtrado en la parte superior de la cubeta. En el caso de utilizar una malla, se evitan las salpicaduras de gotas de gran tamaño fuera del recipiente de ensayos. Se ha observado que estas gotas son pocas, pero al ser de gran tamaño tienen un peso crucial a la hora de estudiar tasas de atomización (el equipo mide la diferencia de masa en el interior de la cubeta respecto al tiempo).

Además, se detecta el importante incremento de la tasa de atomización cuando aumenta el voltaje de alimentación del dispositivo piezoeléctrico, llegando a triplicarse la tasa en el rango de 40 a 60 Voltios.

A voltajes elevados, las altas fuerzas de excitación generan un movimiento violento en el volumen de líquido, cuyas consecuencias son por una parte el aumento de la tasa de líquido atomizada y por otra la formación y proyección de gotas grandes. En experimentos previos en los que se midieron distribuciones de tamaño de gota (Amaveda, 2003), además del pico principal situado entre 3 y 5 μm , cuando aumenta el voltaje se forma también un pico secundario localizado alrededor de 60 μm .

3.2. Atomización de suspensiones de poliamida

Se han realizado ensayos de atomización con suspensiones de poliamida comercial (orgasol) en agua. Los resultados mostrados en la Figura 3.3 son una media aritmética de dos ensayos con una concentración de 0.4 g/l.

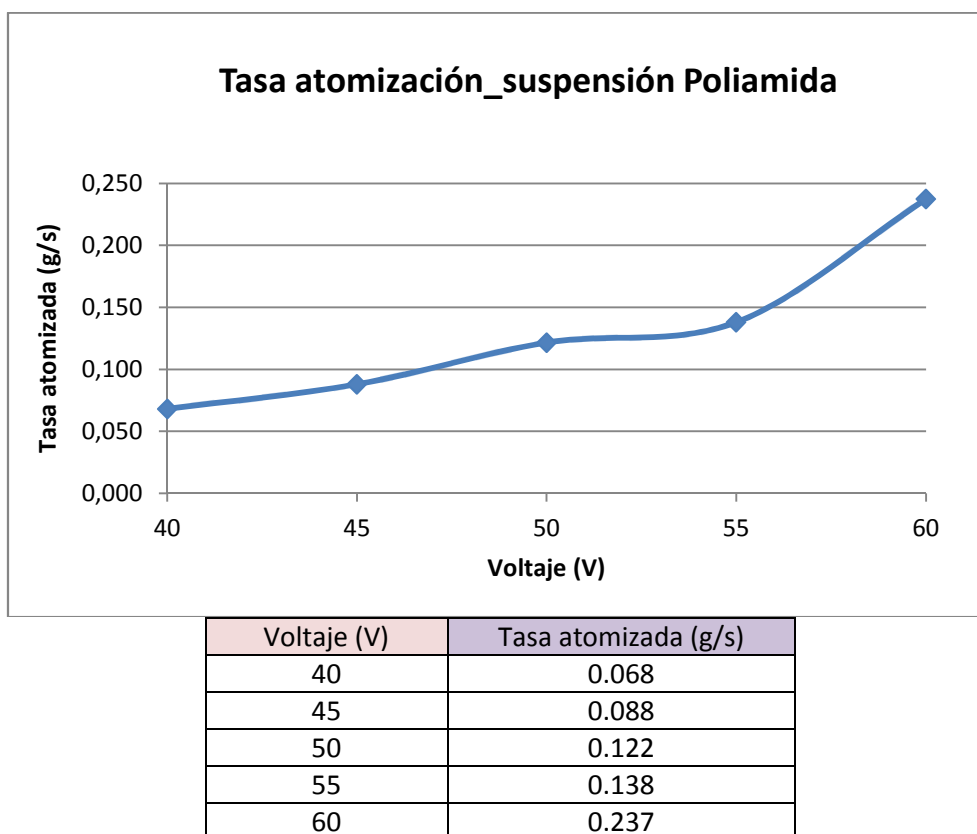


Figura 3.3. Tasas de atomización con suspensiones de poliamida en agua.

La poliamida utilizada está constituida por partículas de tamaño bastante grande: en torno a 60 μm , y cuando se prepara la suspensión, rápidamente se producen núcleos de aglomeración, se deposita en el fondo y se adhiere a las paredes de la cubeta, haciendo imposible mantener una mezcla homogénea a la hora de realizar el ensayo de atomización.

Observando cualitativamente los ensayos de atomización, se aprecia una presencia mínima de sólido en la masa atomizada. Por ello, se descarta seguir experimentando con este tipo de sólido. Sería necesaria una agitación permanente y continua a la vez que se atomizan suspensiones de esta sustancia para corregir posibles errores de medida.

3.3. Atomización de suspensiones de alúmina

Se han realizado ensayos de atomización con suspensiones de alúmina en agua. Se han ensayado tres concentraciones diferentes: 0.2, 0.4 y 0.8 g/l. Los resultados mostrados en la Figura 3.4 son la media obtenida en diferentes ensayos. La evolución frente al voltaje es comparada con la obtenida previamente para el agua.

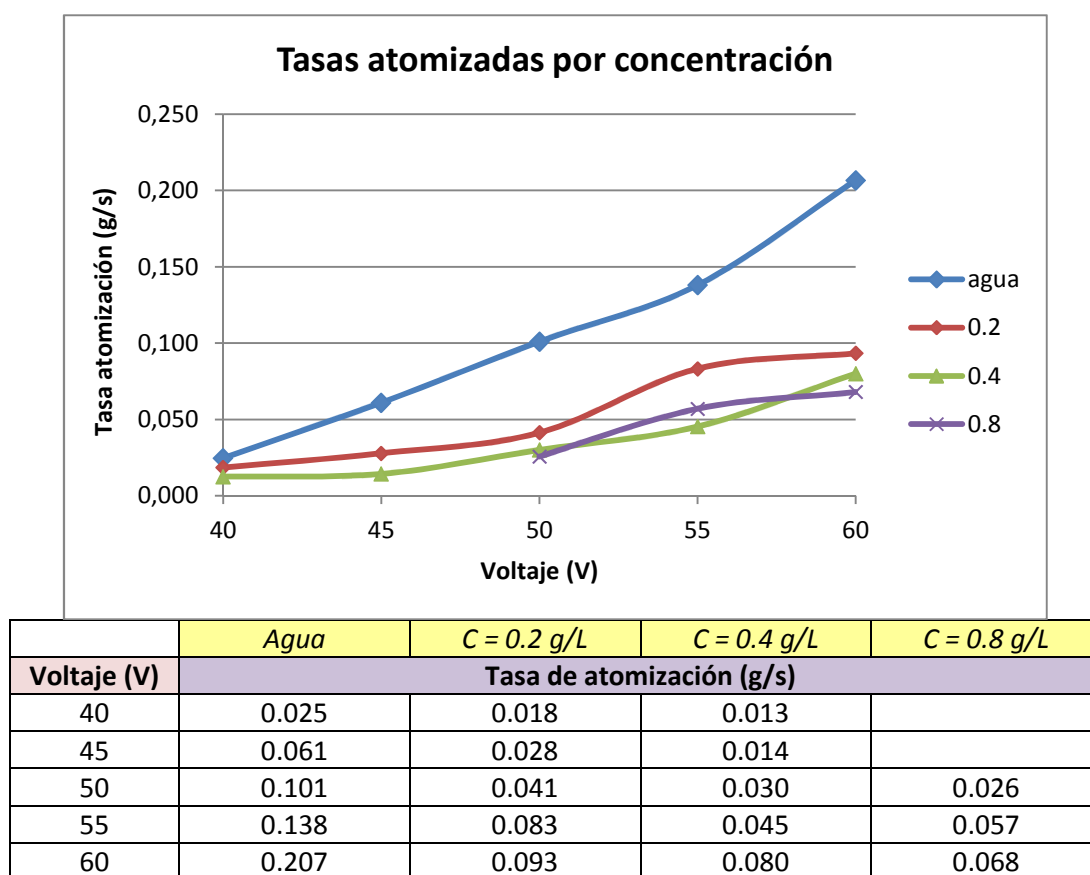


Figura 3.4. Tasas de atomización de suspensiones de alúmina.

Tomando como referencia la curva del agua, los resultados muestran claramente que hay una reducción muy significativa de la tasa atomizada en los ensayos realizados con suspensiones de alúmina. En el caso de los ensayos realizados a 50 y 60 V, las tasas atomizadas son inferiores al 50% de la tasa atomizada con agua. De aquí se deduce que la presencia de partículas en el agua obstaculiza el proceso atomización.

Notar que los datos mostrados en la Fig. 3.3 comienzan a partir de 50 V para una concentración de alúmina de 0.8 g/l. Además, al pasar de una concentración de 0.2 a 0.4 g/l, se detecta una disminución en las tasas atomizadas, que es apreciable también al pasar a una concentración 0.8 g/l (salvo para la medida tomada a 55 V). De aquí es posible deducir que la presencia de mayores concentraciones de partículas incrementa la dificultad para atomizar.

Si se muestran comparativamente los resultados de tasa atomizada para diferentes voltajes de alimentación del piezoeléctrico (Fig. 3.5), se pone de manifiesto que para cualquiera de las concentraciones ensayadas y también en el caso del agua ($C=0$), el aumento del voltaje supone un aumento de la tasa atomizada.

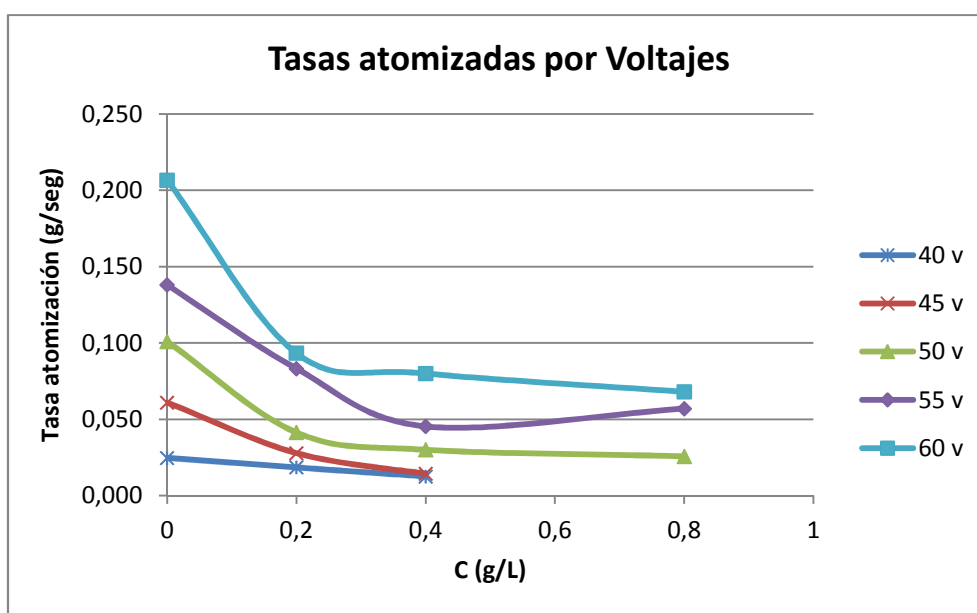


Figura 3.5. Tasas de atomización de suspensiones de alúmina (comparación de voltajes).

En la Figura 3.5 se observa la reducción que se produce en la tasa de atomización cuando aumenta la concentración de alúmina en el agua, con una pendiente mucho más acusada cuando la concentración aumenta desde 0 a 0.2 g/l.

Otro aspecto que fue detectado durante los ensayos es que el tiempo para comenzar el proceso de atomización en un voltaje dado, se incrementaba al aumentar la concentración de alúmina. Investigar las causas de este tipo de observaciones formará parte de un futuro trabajo.

3.4. Presencia de sólido en la atomización de suspensiones de alúmina

Para determinar la presencia de partículas de alúmina en la masa atomizada se utilizan los equipos de filtración y secado que se describen en el punto anterior dedicado al montaje experimental.

Los resultados numéricos y porcentuales se muestran en las siguientes tablas:

C= 0,2 g/l					
V	tasa total (g/s)	tasa solido (g/s)	tasa agua (g/s)	% solido	% agua
60	0,09333	0,00008	0,09326	0,08%	99,92%
55	0,08323	0,00005	0,08318	0,06%	99,94%
50	0,04133	0,00005	0,04129	0,11%	99,89%
45	0,02783	0,00003	0,02781	0,10%	99,90%
40	0,01846	0,00001	0,01845	0,07%	99,93%

C= 0,4 g/l					
V	tasa total (g/s)	tasa solido (g/s)	tasa agua (g/s)	% solido	% agua
60	0,08000	0,00019	0,07981	0,23%	99,77%
55	0,04533	0,00011	0,04523	0,24%	99,76%
50	0,03000	0,00012	0,02988	0,41%	99,59%
45	0,01433	0,00007	0,01427	0,47%	99,53%
40	0,01252	0,00005	0,01247	0,37%	99,63%

C = 0,8 g/l					
V	tasa total (g/s)	tasa solido (g/s)	tasa agua (g/s)	% solido	% agua
60	0,06800	0,00124	0,06676	1,82%	98,18%
55	0,05700	0,00067	0,05633	1,17%	98,83%
50	0,02567	0,00035	0,02532	1,35%	98,65%

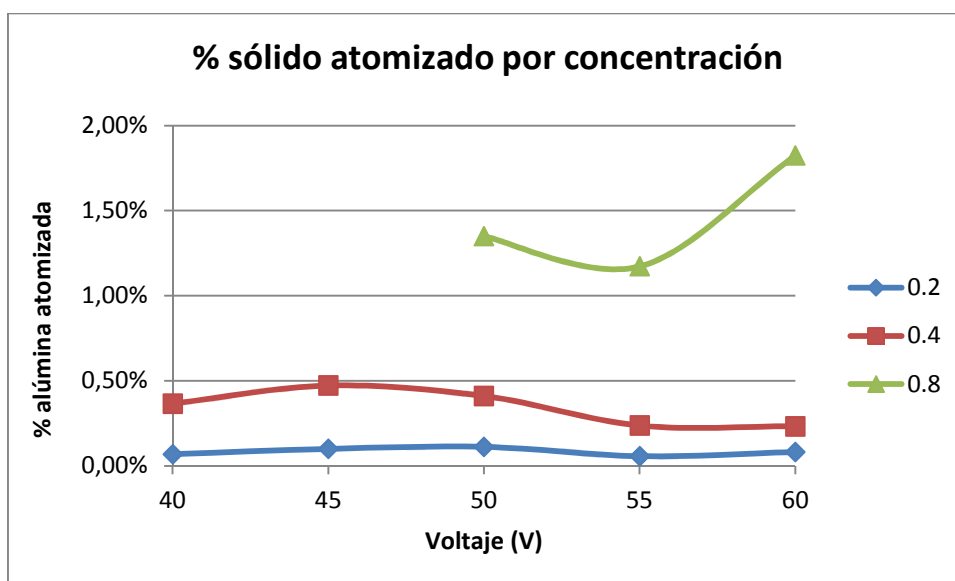


Figura 3.6. Tasas de alúmina en la masa atomizada.

En la Figura 3.6 se muestran, para las tres concentraciones de alúmina ensayadas, el % de sólido medido en la masa atomizada. Se observa un comportamiento poco definido con el voltaje de alimentación del piezoeléctrico. Sin embargo, se detecta claramente un incremento del porcentaje de sólido en la masa atomizada al aumentar la concentración.

Puesto que las tasas que se recogen son tan bajas, la completa recogida del sólido no atomizado es esencial para reducir los errores finales en las medidas. En este punto se considera la posibilidad de aumentar los tiempos de ensayo, para facilitar el proceso de recuperación de sólido se la cubeta de ensayos tal y como se describe en el apartado 2.4 de la memoria.

3.5. Influencia de la Temperatura

Se ha realizado un estudio adicional para determinar el efecto de la Temperatura sobre los resultados de atomización (Fig. 3.7). En particular, se han medido las tasas atomizadas utilizando como muestra de ensayo una suspensión de alúmina en agua, con una concentración de 0.8 g/l. y para un voltaje de 55 V.



Figura 3.7. Baño termostático empleado para los ensayos de Temperatura.

Los resultados se muestran en la tabla y en el gráfico de la Figura 3.8.

T (°C)	tasa (g/s)
15	0,146
27	0,175
33,2	0,224
40,6	0,259

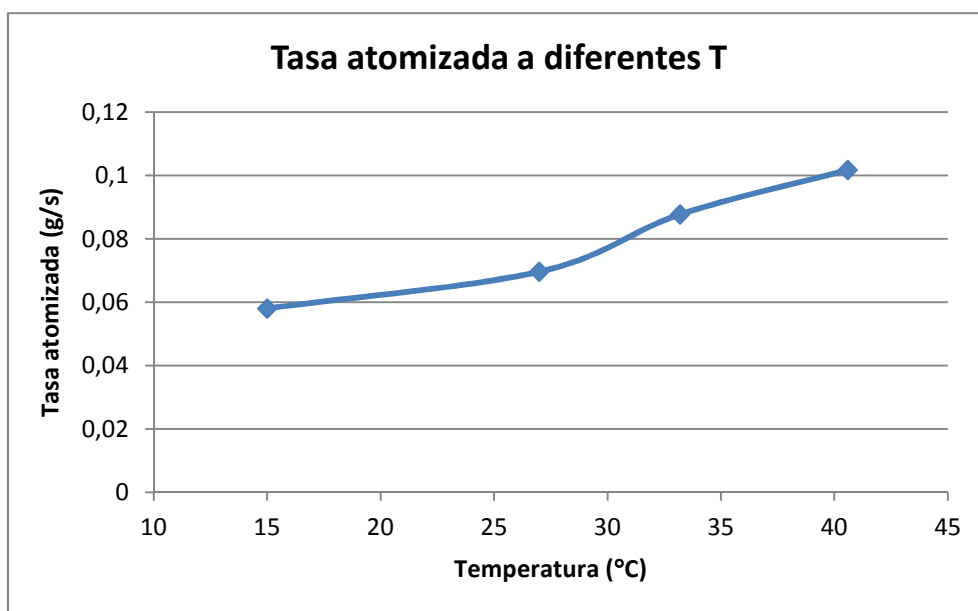


Figura 3.8. Variación de la tasa de atomización con la Temperatura.

El aumento de la Temperatura en la muestra afecta de manera importante a la viscosidad del líquido y a la tensión superficial. Éstas disminuyen lo que favorece los procesos de atomización, tal y como refleja el gráfico donde el incremento de la Temperatura desde 15 a 40.6 °C, supone un aumento de la tasa atomizada en un 77%.

De acuerdo con estos resultados se puede proponer el aumento de la Temperatura para mejorar la atomización de suspensiones que presentan mayor de concentración de sólido.

A la vez, este resultado indica la necesidad de controlar cuidadosamente todos los parámetros ambientales y de operación en las muestras de ensayos.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo ha permitido explorar nuevas posibilidades de utilización de la atomización ultrasónica. Hasta ahora se había experimentado principalmente con líquidos de diferente viscosidad y en este proyecto se aborda la aplicación a suspensiones de sólidos en agua.

Para ello se ha diseñado y montado una instalación de atomización y se han utilizado diferentes equipos que permiten la caracterización y análisis de los procesos a través de métodos experimentales. En particular, se ha puesto a punto una instalación de ensayos de atomización ultrasónica que dispone de un sistema para medir con gran sensibilidad las diferencias de masa en las muestras ensayadas.

En los experimentos se ha utilizado agua y diferentes suspensiones de sólido en agua. En el caso de las suspensiones formadas por partículas de orgasol ($60\text{ }\mu\text{m}$) se observó una fuerte aglomeración de partículas y una falta de homogeneidad en la muestra, por lo que se decidió no continuar los ensayos con este tipo de partículas. Los experimentos con suspensiones de alúmina ($0.5\text{ }\mu\text{m}$) fueron realizados con tres concentraciones diferentes y alimentando a diferentes voltajes el dispositivo generador de ondas ultrasónicas.

Las medidas de masa atomizada con suspensiones de alúmina revelan que la presencia de partículas en suspensión obstaculiza el proceso de atomización, reduciendo considerablemente la cantidad de masa atomizada en comparación con la del líquido sin partículas. Además, el incremento de la concentración de partículas, genera mayor dificultad para que se desarrollen los mecanismos de atomización.

Por otra parte, si se aumenta el voltaje de alimentación del piezoeléctrico, en todos los casos se ha observado que se incrementa la masa atomizada. No obstante, al aumentar la concentración también lo hace el voltaje mínimo para el cual es posible empezar a atomizar. Visualizar la evolución de las inestabilidades en la muestra cuando aumenta el voltaje ha permitido detectar que éstas se desarrollan cada vez a un voltaje mayor al aumentar la concentración de partículas.

En este trabajo se ha abordado también la determinación de la cantidad de sólido que es transportado por la masa atomizada. Para ello se han utilizado equipos de filtración y secado de muestras. Los resultados permiten comprobar la presencia de sólido en la masa atomizada y que el porcentaje de sólido se incrementa cuando inicialmente aumenta la concentración de partículas en la muestra.

El desarrollo del montaje experimental, su puesta a punto y la realización de los ensayos ha supuesto una parte esencial del proyecto, y ha permitido detectar una serie de inconvenientes y dificultades. Varios problemas fueron resueltos y otros deberán ser objeto de trabajos futuros.

En particular, se propone la determinación y control de la temperatura en la región próxima al dispositivo piezoeléctrico, la incorporación de agitadores que mantengan durante tiempos más largos la homogeneidad en las muestras y la utilización de sistemas más sensibles de recuperación de sólidos en las muestras no atomizadas. De esta manera, se podría profundizar en el estudio y comprensión de los complejos fenómenos que intervienen en la atomización ultrasónica.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, J. S. et al., 2011. A synchronized particle image velocimetry and infrared thermography technique applied to an acoustic streaming flow.
- Amaveda, H., 2003. Generación de gotas microscópicas y caracterización de aerosoles. Tesis Doctoral, CPS, Departamento Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Universidad de Zaragoza.
- Barreras, F. et al., 2002. Transient high frequency ultrasonic water atomization" Experiments in Fluids 33, pp 405-413.
- Berger, H.L., 1984. Ultrasonic nozzles take pressure out of atomizing processes. Research and Development 26, pp. 124-127.
- Coulson, J.M. y Richarson, J.F., 1978. Chemical Engineering. Vol. II. Pergamon Press. Oxford.
- Flinn, R. A. and Trojan, P. K., 1992. Materiales de Ingeniería y sus aplicaciones. 3ª Edition. Ed. McGraw Hill
- Howard, B., 2010. High speed photography of ultrasonic atomization.
- Lang, R.J., 1962. Ultrasonic atomization of liquids. The Journal of the Acoustical Society of America, vol 34, nº1, pp. 6-8.
- Lierke, E.G. & Griesshammer, G., 1967. The Formation of Metal Powders by Ultrasonic Atomization of Molten Metals. Ultrasonics, pp. 224-228.
- Lozano, A. et al., 2010. Influence of viscosity on droplet size distribution and generation rate in ultrasonic atomization" LITEC, CSIC-Univ. Zaragoza. Atomization and sprays, pp. 923-934.
- Lozano, A. et al., 2011. High flow-rate ultrasonic seeder. LIFTEC, CSIC- Universidad de Zaragoza
- Marcilla A., 1999. Introducción a las Operaciones de Separación Contacto Continuo, Publicaciones de la Universidad de Alicante, Ed. Compobell, S.L. Murcia.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriot, P., 1998. Operaciones unitarias en Ingeniería Química. 4a Edición. McGraw Hill
- Navarro J.L., 2009. Caracterización de dispositivos de atomización ultrasónica. PFC Escuela Ingeniería Técnica Industrial, Área de mecánica de Fluidos, Universidad de Zaragoza.

Santolaya, J.L., 2004. Estudio experimental del spray de aceite usado generado por un atomizador de presión con rotación" Tesis Doctoral, CPS, Departamento Ciencia y Tecnología de Materiales y Fluidos, Universidad de Zaragoza.

Sindayihebura, D., 1995. Pulverisation Ultrasonique des Films de faible épaisseur. Thèse de Doctorat, Université Catholique de Louvain Bruxelles (Belgique).

Topp, M. N. & Eisenklan, P., 1972. Industrial and Medical Uses of Ultrasonic Atomizers. Ultrasonics 10. nº3, pp 127-133.

Yang J. 2006. Analysis of Piezoelectric Devices. University of Nebraska-Lincoln, USA, World Scientific.

Propiedades de poliamidas: Disponible en:

http://dspace.ubu.es:8080/trabajosacademicos/bitstream/10259.1/98/1/Trigo_L%C3%B3pez.pdf

Propiedades del orgasol. Disponible en:

<http://www.apsa.es/orgasol/descripcion-tecnica/>

ANEXOS

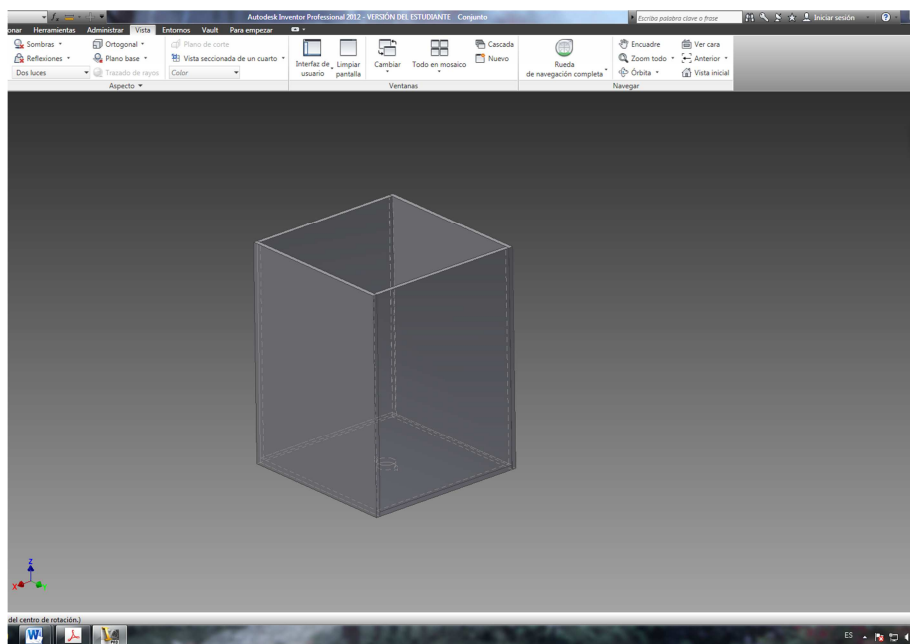
ANEXO I: EQUIPO EXPERIMENTAL – DATOS TÉCNICOS

- 1) RECIPIENTE DE ENSAYOS
- 2) PIEZOELÉCTRICO
- 3) FUENTE DE ALIMENTACIÓN
- 4) CÉLULAS DE CARGA
- 5) CIRCUITO ELECTRÓNICO A/D
- 6) SISTEMA DE EXTRACCIÓN
- 7) EQUIPO DE FILTRACIÓN

1) RECIPIENTE DE ENSAYOS

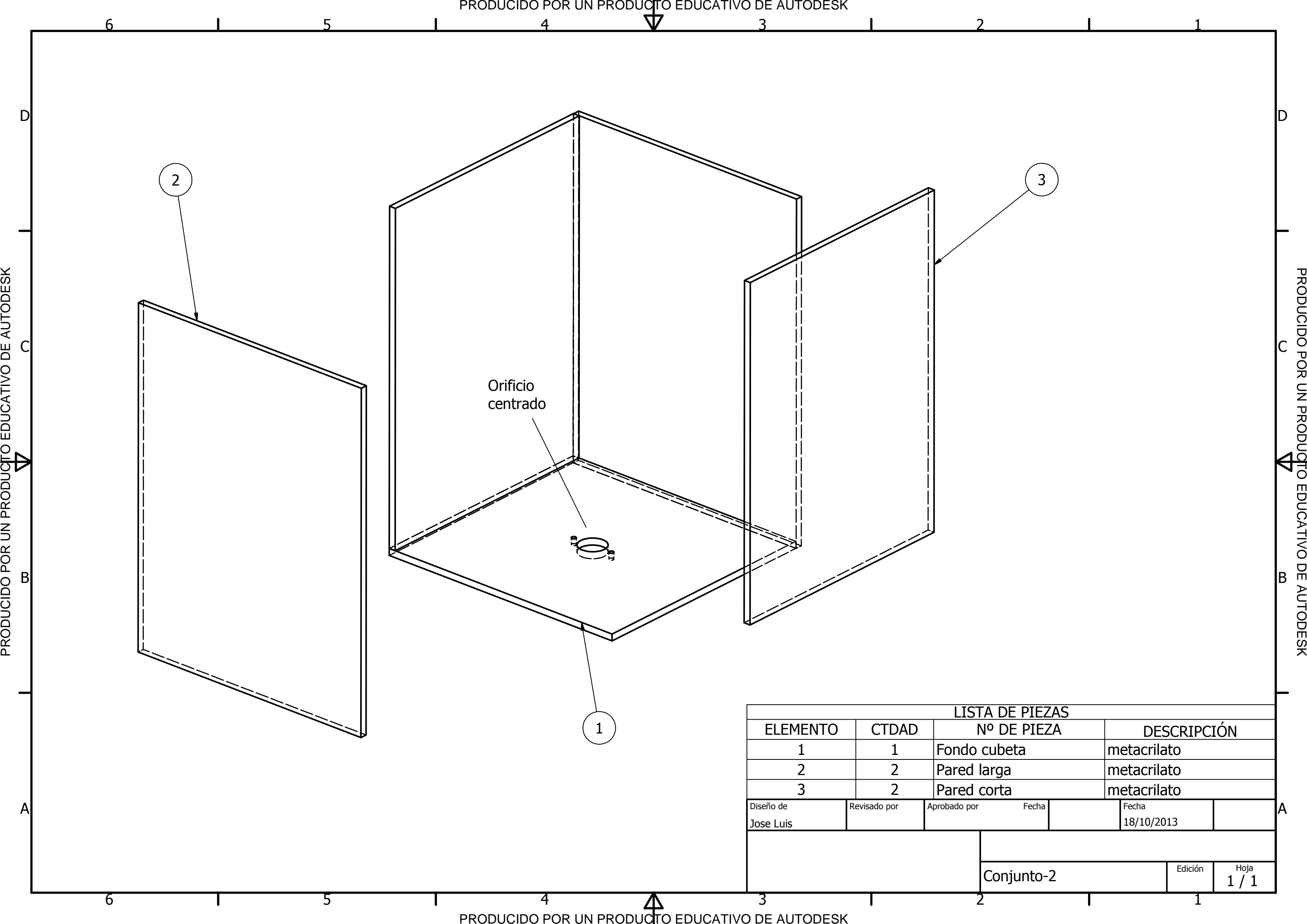
Está fabricado de metacrilato. El metacrilato también se conoce como vidrio acrílico o PMMA. Este material se obtiene de la polimerización del metacrilato de metilo.

El metacrilato es el más resistente a la intemperie de los plásticos incoloros o transparentes: tiene más resistencia al rayado y superior transparencia, saliendo siempre vencedor en la comparación con el policarbonato y el poliestireno.



Propiedades del metacrilato:

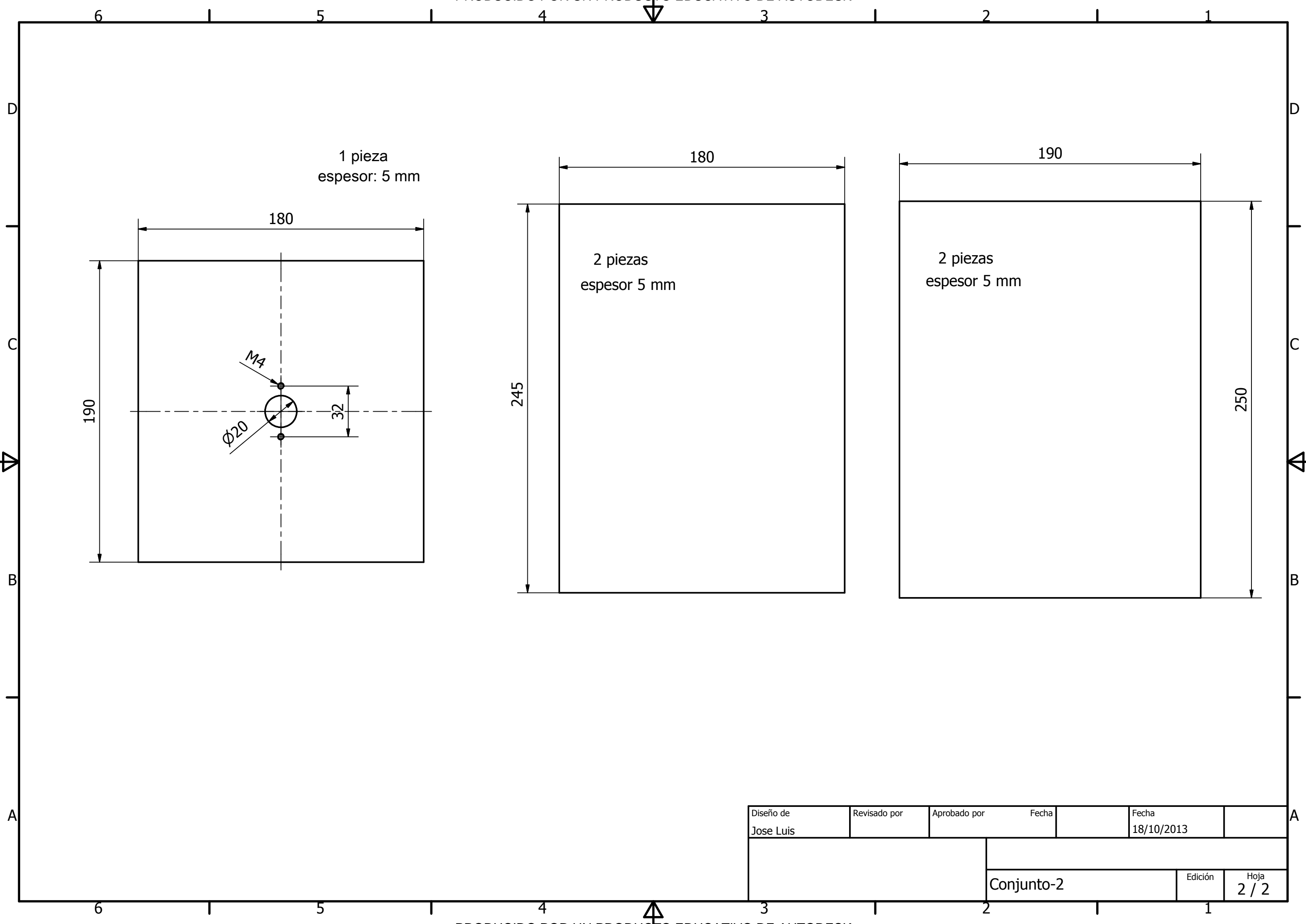
- Transparencia de alrededor del 93%. El más transparente de los plásticos.
- Alta resistencia al impacto, es 20 veces más resistente al impacto que el vidrio.
- Resistente a la intemperie y a los rayos ultravioleta. No hay un envejecimiento apreciable en diez años de exposición exterior.
- Excelente aislante térmico y acústico.
- Ligero en comparación con el vidrio (aproximadamente la mitad), con una densidad de unos 1190 kg/m³ es sólo un poco más pesado que el agua. Un 65% más ligero que el vidrio, lo que facilita su manejo.
- De dureza similar a la del aluminio
- De fácil combustión, no se apaga al ser retirado del fuego. Sus gases tienen olor afrutado y crepita al arder. No produce ningún gas tóxico al arder por lo que lo podemos considerar un producto muy seguro para elementos próximos a las personas al igual que la madera.
- Gran facilidad de mecanización y moldeo.
- Fácil de reciclar.
- No absorbe prácticamente agua.
- Tiene buena estabilidad térmica.
- Es autoextinguible.
- Densidad: 1.2 g/cm³
- No es tóxico.



LISTA DE PIEZAS					
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA		DESCRIPCIÓN	
1	1	Fondo cubeta		metacrilato	
2	2	Pared larga		metacrilato	
3	2	Pared corta		metacrilato	
Diseño de Jose Luis		Revisado por	Aprobado por	Fecha	
				18/10/2013	
			Conjunto-2		Edición
					Hoja 1 / 1

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK

PRODUCIDO POR UN PRODUCTO EDUCATIVO DE AUTODESK



Diseño de Jose Luis	Revisado por	Aprobado por	Fecha		Fecha	
					18/10/2013	
			Conjunto-2			
			Edición		Hoja 2 / 2	

Ultrasonic Nebulizer Units

Humidifier for mist generating system
Incorporate type

NB series

Issue date: March 2012

- All specifications are subject to change without notice.
- Conformity to RoHS Directive: This means that, in conformity with EU Directive 2002/95/EC, lead, cadmium, mercury, hexavalent chromium, and specific bromine-based flame retardants, PBB and PBDE, have not been used, except for exempted applications.

Ultrasonic Nebulizer Units Incorporate Type

NB Series

The TDK ultrasonic humidifier unit was the first such product in the world to be developed. There is an increasing need for indoor humidification due to the proliferation of clean air heat pumps and central heating systems.

When the appropriate amount of humidity is added as determined by the relationship between humidity and sensible temperature (temperature perceived by the body), humidification is advanta-

geous from the standpoint of both health and reduced energy consumption.

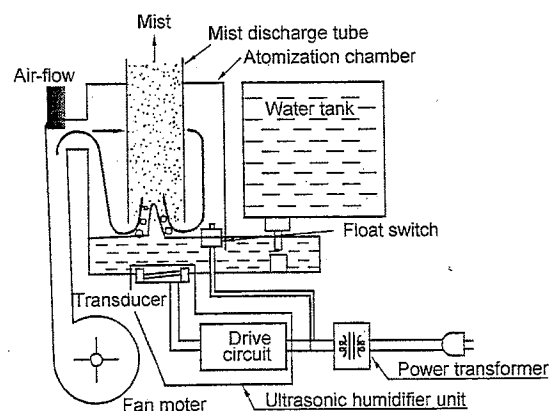
In addition to such home uses, these ultrasonic humidifier units have numerous advantages for humidification of vegetable show-cases, preservation and growth of agricultural products, industrial applications, etc. A wide variety of standard units are available from TDK.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

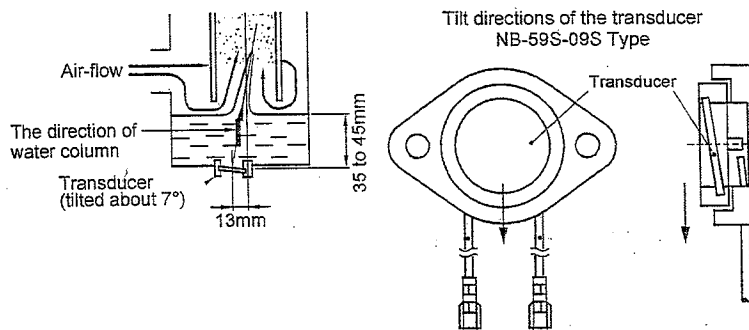
Part No.	NB-59S-09S-0	NB-80E-01-H
Rated input voltage	Eac(V) Edc(V)	48±10% 12±10%
Power consumption (W)	30±5	13.2max.
Mist output ratio (l/h)	450×10 ⁻³ min.	(150+100, -50)×10 ⁻³
Ultrasonic frequency (kHz)	1600 to 1750	2350 to 2600
Normal water level (mm)	40	35
External potentiometer (kΩ)	—	10
Operating water temperature range (°C)	0 to 45	0 to 45
Water quality	Drinking water	Drinking water
Transducer element life (h)	10000	5000
Cooling method	Water cooled	Air cooled
Parallel connected operation	Yes	Yes
Weight (g)	60	60
Main application	Various humidity control systems	Microparticle applications such as for medical use

• The character at the end of the product number indicates the transducer's direction of tilt.

EXAMPLE OF ATOMIZATION CHAMBER CONSTRUCTION



TYPICAL TRANSUCER INSTALLATION

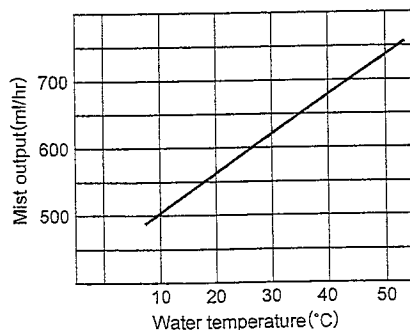
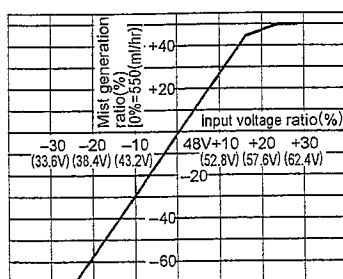


The arrows indicate the tilt direction of the transducer.

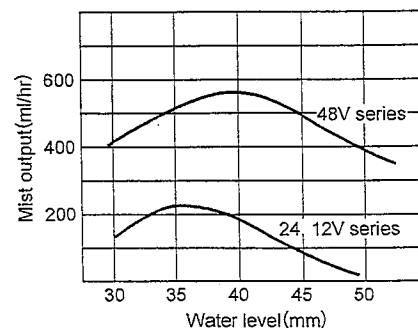
* The tilt direction of transducer will be the same as the direction of water column.

TYPICAL CHARACTERISTICS OF HUMIDIFIER UNITS

VOLTAGE CHARACTERISTICS(48V) WATER TEMPERATURE CHARACTERISTICS(48V)

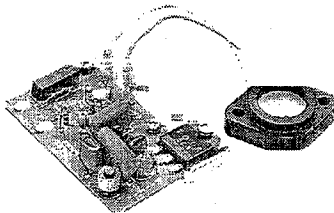
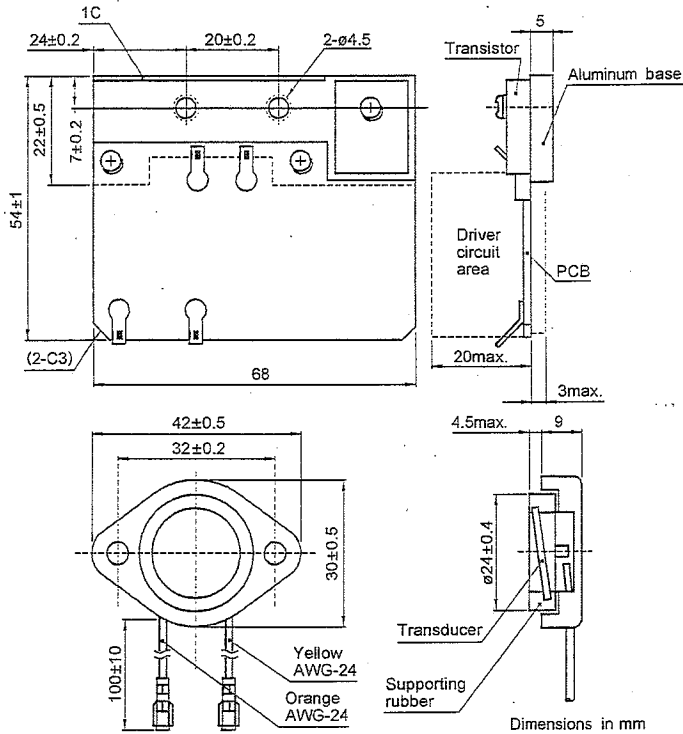


WATER LEVEL CHARACTERISTICS

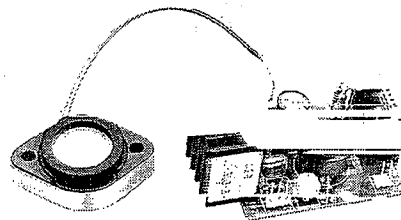
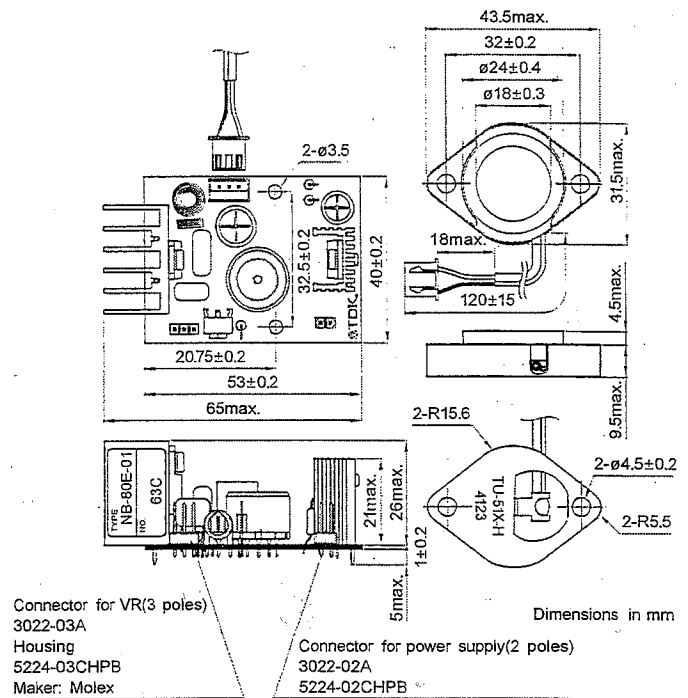


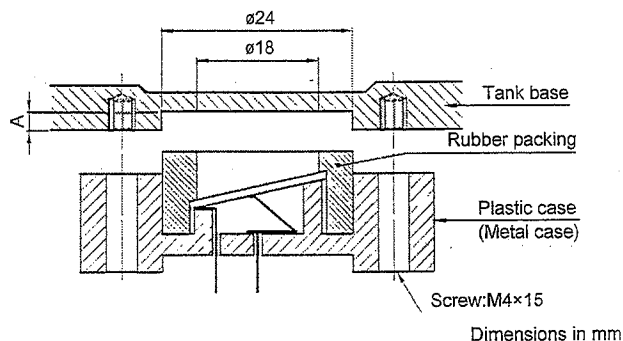
NB-59S-09S TYPE**FEATURES**

- Compact, with highly reliable circuitry.
- Separate transducer and drive circuit sections provide superior layout versatility.

SHAPES AND DIMENSIONS**NB-80E-01 TYPE****FEATURES**

- Compact, with highly reliable circuitry.
- Separate transducer and drive circuit sections provide superior layout versatility.
- Because the ultrasonic frequencies used are higher than with typical household-type units, mist particle size is extremely fine. This part is thus ideal for products intended for smaller spaces.

SHAPES AND DIMENSIONS

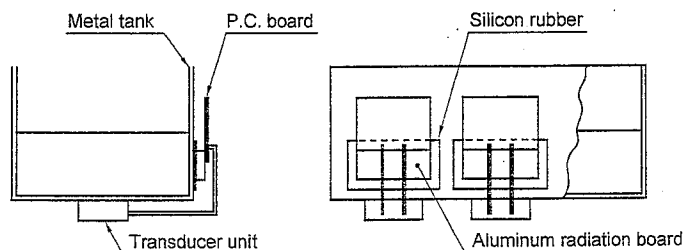
MOUNTINGS (Reference)**1.NB59S, NB-80E TYPES**

The transducer can break off if the A dimension depth is shallow. TDK recommends a 2mm A-dimension depth and a screw tightening torque of 0.6N·m.

2.CONSTRUCTION OF NB59S

The drawing below shows an example method for transistor heat dissipation. The attached aluminum cooling fins should be fixed using silicon rubber to a metallic water tank, etc. with sufficient heat dissipation capacity.

(It is recommended to use a plastic water tank. However, if a metallic water tank is absolutely must be used, be sure to insulate it from the power supply line.)

**PRECAUTIONS**

- These units are readily damaged by operation when empty (without water). Therefore a means (float switch, etc.) should be provided to assure operation does not occur when empty.
 - Contact TDK prior to use of this unit for applications utilizing liquids other than water.
 - The unit should be used only after sufficient consideration of the product specifications for that specific unit.
 - When using units in parallel, make sure that voltage differences do not occur between the individual transducers.
 - Do not use the unit to atomize a liquid other than drinking water. Doing so can deteriorate the transducer.
 - Do not operate the transducer when the atomization unit tank is not charged with drinking water.
 - Drain water from the transducer and clean the equipment into which the unit is incorporated if not used for a long period of time.
 - Clean the transducer periodically to prevent any degradation in the atomizing capacity due to buildup in the transducer of such substances as calcium, sodium, magnesium, and silicon, commonly found in drinking water.
 - TDK is not responsible for damage to the transducer resulting from use of oscillator circuitry not supplied or not approved by TDK.
 - TDK is not responsible for worsening of unit performance resulting from operation in environments other than those recommended, storage in environments other than those recommended, or use of the unit in configurations other than those recommended by TDK for efficient mist generation.
 - TDK is not responsible for the vaporization of pathogenic bacteria or particles, not responsible if drinking water contains substances that impede vaporization, and not responsible for bacterial growth due to lack of a water purification function.
 - Please select a plastic material of construction for the water tank design. Metallic construction can result in electrolytic corrosion between the chamber base and water tank.
- Furthermore, if multiple units are used with the same tank, and if each unit is equipped to be separately turned ON/OFF, the power supply terminal for each unit should use a double-pole switch.

3) FUENTE DE ALIMENTACIÓN



FEATURES

- * 0.01% High Regulation
- * Constant Voltage and Constant Current Operation
- * Internal Select for Continuous or Dynamic Load
- * Low Ripple and Noise
- * Overload and Reverse Polarity protection
- * 3 1/2 Digits 0.5" LED Display

GPR-M SERIES

SPECIFICATIONS		
CONSTANT VOLTAGE OPERATION	Regulation	Line regulation $\leq 0.01\% + 3\text{mV}$ Load regulation $\leq 0.01\% + 5\text{mV}$ ($<10\text{A}$) Load regulation $\leq 0.02\% + 5\text{mV}$ ($\geq 10\text{A}$)
	Ripple & Noise	$\leq 1\text{mVrms}$ 5Hz ~ 1MHz
	Recovery Time	$\leq 100\mu\text{s}$ (50% Load change, Minimum load 0.5A)
CONSTANT CURRENT OPERATION	Output Range	0 to rating voltage continuously adjustable
	Regulation	Line regulation $\leq 0.2\% + 3\text{mA}$ Load regulation $\leq 0.2\% + 3\text{mA}$
	Ripple Current	$\leq 3\text{mA rms}$
METER	Output Range	0 to rating amperes continuously adjustable
	Analog	V-meter and I-meter each one 2.5 class Dimension 60 x 80 mm
DIGITAL	Digital	3 1/2 Digits 0.5" LED display Accuracy $\pm (0.5\% \text{ of rdg.} + 2 \text{ digits})$
INSULATION	Chassis and Terminal	20M Ω or above (DC 500V)
	Chassis and AC Cord	30M Ω or above (DC 500V)
POWER SOURCE		AC 100V/120V/220V/240V $\pm 10\%$, 50/60Hz
ACCESSORIES		Instruction manual x 1, Power cord x 1 Test lead GTL-105 x 1 ($\leq 3\text{A}$) or GTL-104 x 1 ($\leq 10\text{A}$)
DIMENSIONS		255(W) x 145(H) x 335(D) mm

ORDERING INFORMATION				
Model	Output Volts (V)	Output Amps (A)	Weight (kg)	
GPR-1810HD 180W D.C. Power Supply	0 ~ 18	0 ~ 10	11.5	
GPR-3060D 180W D.C. Power Supply	0 ~ 30	0 ~ 6	11.5	
GPR-6030D 180W D.C. Power Supply	0 ~ 60	0 ~ 3	11.5	

4) CÉLULAS DE CARGA

Model 1004

Single Point Load Cells

NEW!

Features



- Capacities: 0.3 kg - 3 kg (0.6 lbs - 6 lbs)
- Aluminum construction
- Single point 200 mm x 200 mm
- IP66 protection
- Total error better than 0.0067% of rated output

Model 1004 is a very low capacity, very high precision single point load cell designed for direct mounting in low capacity scales and precision balances.

The unit is suitable for applications including jewelry scales, analytical balances, medical equipment, medical and pharmaceutical research and low level force measurement.

The model 1004 offers up to 30,000 divisions short term precision at stable room temperature. A special two-stage humidity resistant protective coating assures long term reliability.

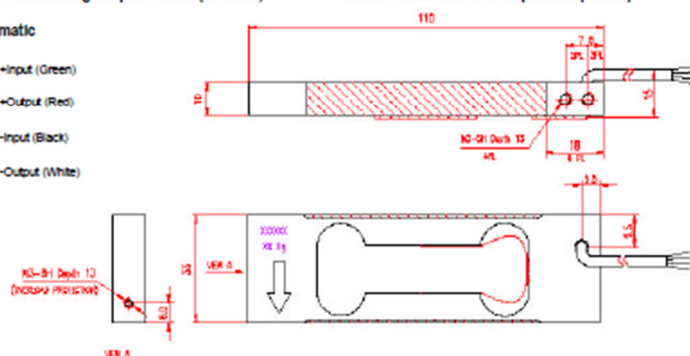
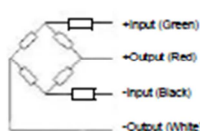
An overload protection device should be included in the application design. A threaded hole is provided in the loading end of the load cell for this purpose.

GRADE	JW	UNITS
Rated Capacity	0.3, 0.6, 1.5, 3	kg
Rated Output	0.9 ±0.1	mV/V
Rated Output Tolerance	0.1	± mV/V
Zero Balance	0.04	± mV/V
Total Error (at constant room temperature)	0.0067	±% of Rated Output
Zero Return (creep) in 2 minutes	0.0033	±% of Applied Load
Temperature Effect: On Zero	0.004	±% of Rated Output/°C
Temperature Effect: On Output	0.002	±% of Applied Load/°C
Eccentric loading error	0.0033	±% of Load / cm
Maximum recommended platform size	20 by 20	cm
Temperature Effect: Compensated	+5 to +45	°C
Temperature Effect: Safe	-30 to +70	°C
Maximum Safe Static Overload (central loading)	150	% of Rated Capacity
Ultimate Static Overload (central loading)	250	% of Rated Capacity
Excitation: Recommended	10	VAC or VDC rms
Excitation: Maximum	15	VAC or VDC rms
Input Impedance	415 ± 20	Ohms
Output Impedance	350 ± 3	Ohms
Insulation Resistance	>2000	MegaOhms
Deflection of Rated Capacity (Central Loading)	<0.4	mm
Cable Length	0.4	m
Weight (nominal)	0.06	kg
Cable Type	0.4 m, 4-wire, 28 AWG, spiral shield, PVC jacket	
Color Code	+exo-gm, +sig-red -exo-blk, -sig-wht	
Construction	Aluminum	
Platform Size	200 x 200	mm
Compensation Circuit Type	Balanced	
Environmental Protection	IP66	
Outline Dimension Drawings	273.000.00-3	

Recommended bolt fixing torque L 1.4nm (1.0 lbf.ft)

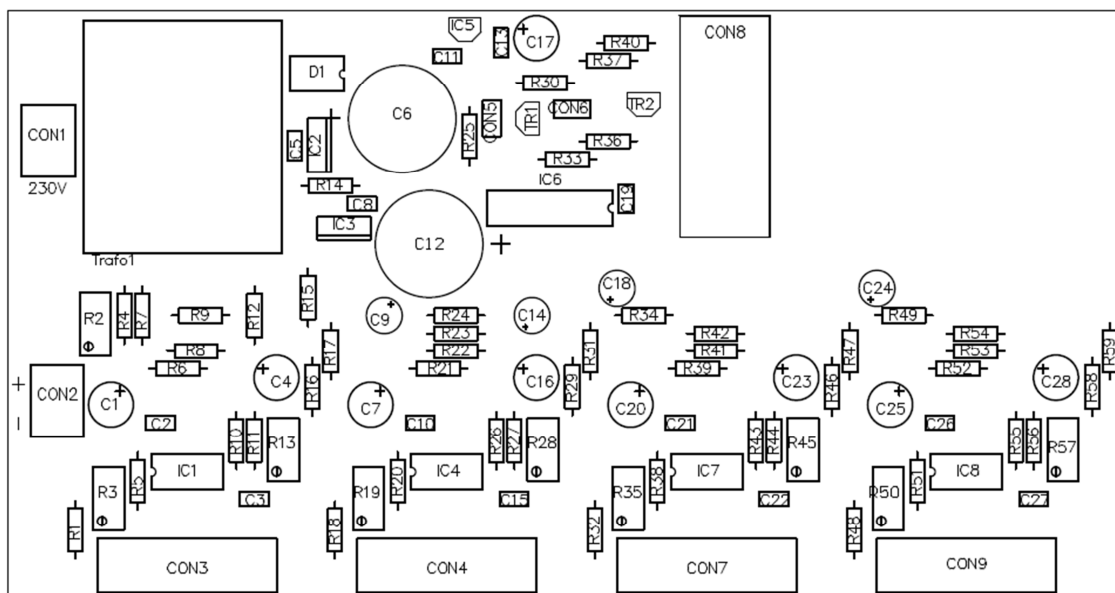
Outline Dimensions All Capacities (in mm)

Wiring Schematic



4) CIRCUITO ELECTRÓNICO

ESQUEMA ELÉCTRICO

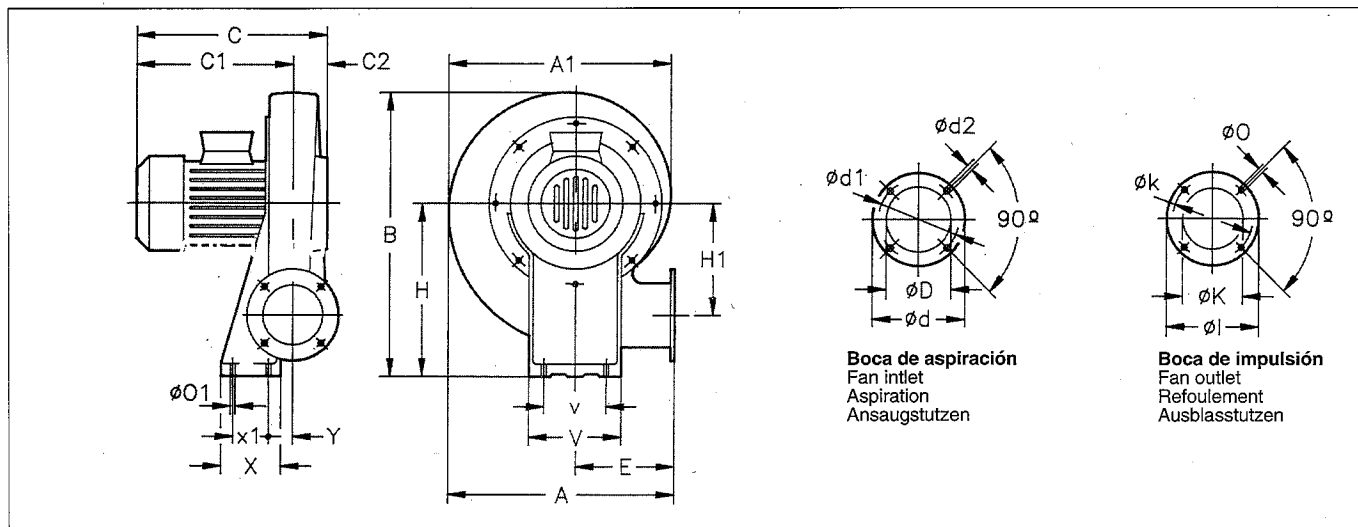


LISTA DE COMPONENTES

Comment	Pattern	Quantity	Components
	SIP2	2	CON5, CON6
0	AXIAL0.4	27	R1, R6, R8, R10, R12, R14, R15, R17, R18, R21, R22, R23, R26, R30, R31, R32, R39, R41, R42, R43, R47, R48, R52, R53, R54, R55, R59
100	RES-MULTI	8	R3, R13, R19, R28, R35, R45, R50, R57
100KpF	RAD0.2-CERA	13	C2, C3, C5, C8, C10, C11, C13, C15, C19, C21, C22, C26, C27
100uF/16v	RB.1/.25	9	C1, C4, C7, C16, C17, C20, C23, C25, C28
10K	AXIAL0.4	2	R25, R36
10uF/16v	RB.1/.2	4	C9, C14, C18, C24
12+12	TR-6+6/2.5	1	Trafo1
150	AXIAL0.4	4	R5, R20, R38, R51

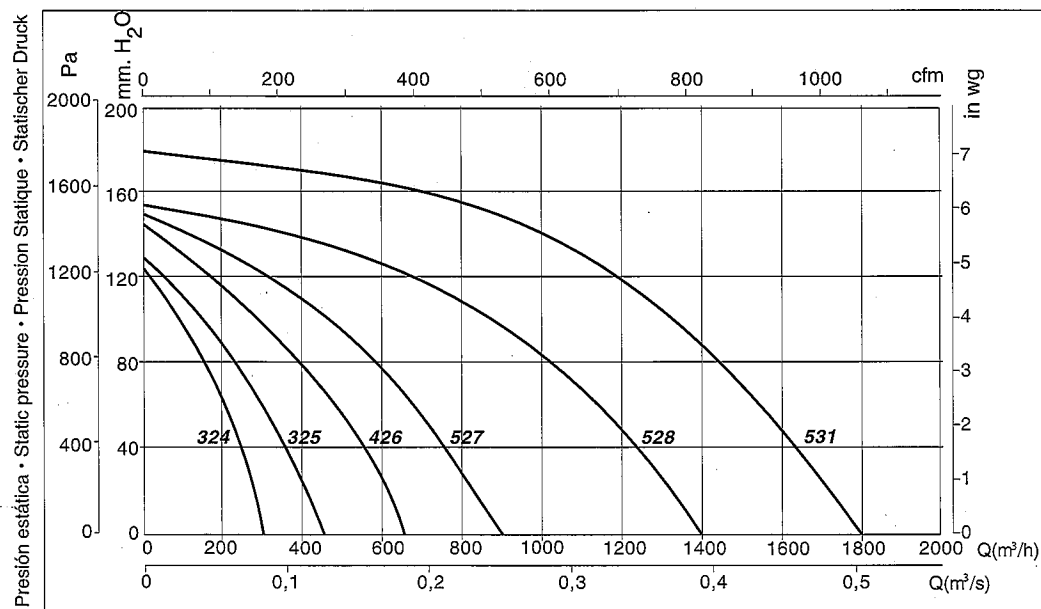
16F688	DIP14-NEW	1	IC6
1K	AXIAL0.4	5	R7, R9, R24, R34, R49
1K	RES-MULTI	1	R2
1K2	AXIAL0.4	8	R11, R16, R27, R29, R44, R46, R56, R58
2200uF/16V	RB.3/.6	2	C6, C12
230V	POWER-2	1	CON1
390	AXIAL0.4	1	R40
47K	AXIAL0.4	1	R33
4k7	AXIAL0.4	1	R37
6K8	AXIAL0.4	1	R4
7806	TO-220-VERT	1	IC2
78L05	TO-92-ANCHO	1	IC5
7906	TO-220-VERT	1	IC3
BC337	TO-92-LIN	2	TR1, TR2
DB9-HEMBRA	DB9-HEMBR/90	1	CON8
INA122	DIP8-NEW	4	IC1, IC4, IC7, IC8
Puente	PUENTE-DIP	1	D1
Sonda_1	POWER-5	1	CON3
Sonda_2	POWER-5	1	CON4
Sonda_3	POWER-5	1	CON7
Sonda_4	POWER-5	1	CON9
Vpiezo	POWER-2	1	CON2

Dimensiones mm - Dimensions in mm - Dimensions mm - Abmessungen in mm



Modelo Model Modèle Typ	A	A1	B	C	C1	C2	ØD	Ød	Ød1	Ød2	E	H	H1	ØI	ØK	Øk	ØO	ØO1	V	v	X	x1	Y
CMAT-324	311	302	356	264	226	38	80	130	112	M.5	145	205	145	108	62	90	7	9	173	125	90	60	20
CMAT-325	335	328	399	284	244	40	94	140	122	M.6	155	235	152	120	80	102	7	9	180	145	110	80	20
CMAT-426	354	344	412	295	255	40	117	155	132	M.6	162	240	163	140	90	119	7	13	210	160	105	65	26
CMAT-527	371	361	440	303	261	42	125	170	147	M.6	168	260	170	155	100	129	7	13	220	170	120	80	20
CMAT-528	401	395	488	352	304	48	135	190	162	M.6	178	290	177	190	130	160	11	13	230	180	140	100	20
CMAT-531	440	434	537	364	314	50	160	215	180	M.6	193	320	200	200	140	175	11	13	240	190	160	120	21

Curvas Características - Characteristic Curves - Courbes Caractéristiques - Leistungskennlinien



Accesorios - Accessories - Accessoires - Zubehör



RPA



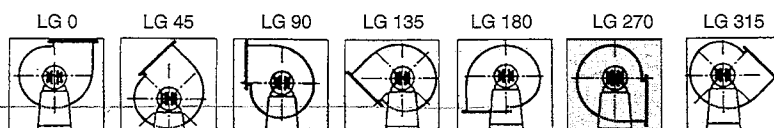
B



ACE

Orientaciones - Fan position - Orientations - Gehäusestellung

Suministro standard LG 270 - LG 270 standard assembly - Livraison standard LG 270 - Standard Gehäusestellung LG 270

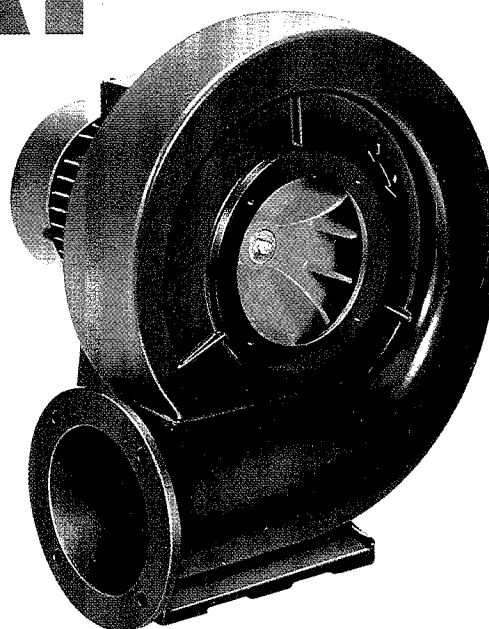


Ventiladores centrífugos de media presión con turbina radial

Medium-pressure centrifugal fans with straight blade turbine

Ventilateurs centrifuges de moyenne pression à turbine radiale

Mitteldruck-Radialventilator mit geradem Laufrad



CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

- Carcasa en fundición de aluminio.
- Turbina fundición de aluminio. PALAS RECTAS transporte polvo y material sólido.
Temperatura máxima del aire a transportar: 120° C.
- Motores asíncronos, con rotor de jaula de ardilla.
En ejecución de serie se sirven con motor trifásico 230/400 V, 50 Hz. Aislamiento clase F y protección IP-55.
- Acabado anticorrosivo en polvo de resina epoxi, secado al horno a 200° C, previo fosfatado al zinc.
- Bajo demanda:
 - Voltajes, frecuencias, protecciones del motor especiales.
 - Ventilador preparado para transportar aire hasta una temperatura máxima de 250° C.

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION

- Virole en fonte d'aluminium.
- Turbine en fonte d'aluminium. Pales droites pouvant transporter des poussières et des matériaux solides.
Température maximum de l'air à transporter: 120° C.
- Moteurs asynchrones, rotor à cage d'écureuil.
Les modèles standard sont livrés avec un moteur triphasé 230/400 V, 50 Hz. Isolation classe F et protection IP-55.
- Finition anticorrosion en poudre de résine époxy séchée au four à 200° C, après phosphatation préalable au zinc.
- Sur demande:
 - Des voltages, fréquences et protections du moteur spéciaux.
 - Ventilateur préparé pour transporter de l'air jusqu'à une température maximum de 250° C.

MANUFACTURING FEATURES

- Cast aluminium housing.
- Cast aluminium turbine with straight blades to transport dust and solid materials.
Maximum air flow temperature: 120° C.
- Asynchronous motors, with squirrel-cage rotor.
Standard models supplied with three-phase 230/400 V, 50 Hz. Class F insulation and IP-55 protection motors.
- Epoxy resin powder anticorrosive finishing, zinc phosphate-treated and kiln-dried at 200° C.
- On request:
 - Special motor voltages, frequencies and protections.
 - The fan with capacity to transport air up to a maximum temperature of 250° C.

AUSFÜHRUNG

- Gehäuse aus Aluminiumguß.
- offenes Aluminiumgußlaufrad mit radialer Schaufelstellung, welches die Förderung von Stäuben und leichten Schüttgütern ermöglicht. Max. Fördermitteltemperatur: 120° C.
- Asynchron-Käfigläufermotoren, Standardversionen werden mit Drehstrommotoren 230/400 V, 50 Hz, IP-55 Schutzart, Isolationsstoffklasse F ausgestattet.
- Epoxidharzbeschichtung, 200° C ofengehärtet und mit Zinkphosphat behandelt.
- Auf Anfrage:
 - Sondermotoren mit verschiedenen Spannungen und Schutzarten, sowie Ausführung mit einer max. Fördermitteltemperatur bis 250° C.

Características técnicas - Technical Specifications - Caractéristiques techniques - Technische Daten

Modelo Model Modèle Typ	Velocidad Speed Vitesse Drehzahl min ⁻¹	Intens. máxima admisible Max. electrical supply Intensité max. admissible Max. Stromaufnahme		Potencia instalada Output power Puissance installée Motorleistung	Caudal máximo Max. flow rate Débit maximum Max. Volumenstrom	Nivel sonoro Sound level Niveau sonore Schalldruckpegel	Peso Aprox. Approx. weight Poids appr. Gewicht ca.
	(r/min)	230 V	400 V	(kW)	(m ³ /h)	dB (A)	(Kg)
CMAT-324-2T	2850	0,97	0,56	0,18	300	70	9
CMAT-325-2T	2810	1,64	0,95	0,25	450	73	11
CMAT-426-2T	2870	1,52	0,88	0,37	650	75	13
CMAT-527-2T	2860	1,52	0,88	0,37	900	80	15
CMAT-528-2T	2880	2,94	1,70	0,75	1400	82	20
CMAT-531-2T	2870	4,33	2,50	1,10	1800	84	24

ANEXO II: PROPIEDADES DE LOS SÓLIDOS ATOMIZADOS

1. POLIAMIDA COMERCIAL (ORGASOL)
2. ALÚMINA EN POLVO (Al_2O_3)

1. POLIAMIDA COMERCIAL (ORGASOL)

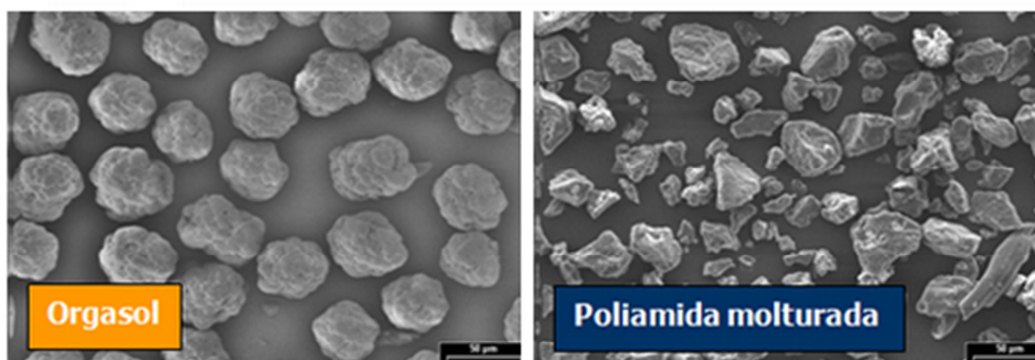
Orgasol es una gama de poliamidas en polvo de Arkema que permite la modificación y mejora de las prestaciones de pinturas y recubrimientos, adhesivos, metalurgia, pulimentos o cosmética.

Las diferentes referencias Orgasol se sintetizan por polimerización directa de lauril lactama (PA12), de caprolactama (PA6) y de la combinación de ambas (PA 6/12).

En consecuencia tendrán las propiedades químicas inherentes a estos tipos de nylon: gran estabilidad y resistencia a la intemperie.

El proceso único de síntesis de los Orgasol conduce a una morfología esferoidal en todas sus referencias, diferente a la de las poliamidas en polvo obtenidas por molturación.

Además, su distribución de partícula está muy centrada en un diámetro medio, comportando una alta eficiencia ya que se introducen en la formulación sólo aquellas partículas del tamaño deseado.



El tamaño medio de las partículas Orgasol oscila entre las 5 y las 60 µm.

Otra característica destacable de las poliamidas Orgasol es su porosidad y su superficie específica, de 1 a 20 m²/g. Asociada a esta característica, la propiedad de esta poliamida de encapsular en su interior sustancias diversas como principios activos, reactivos, perfumes, vitaminas, insecticidas, etc, protegiéndolas y permitiendo una liberación sostenida en el lugar y en el momento deseados.

Su densidad aparente oscila entre 0,215 y 0,450 g/cm³.

2. ALÚMINA EN POLVO (Al_2O_3)

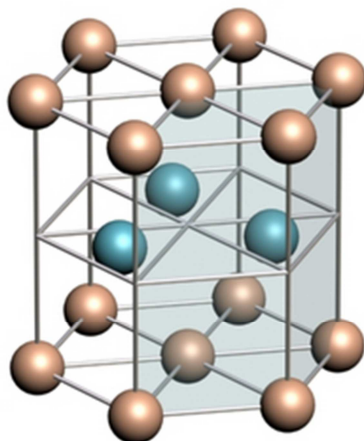
Alúmina es el óxido de aluminio (Al_2O_3). Junto con la sílice, es el ingrediente más importante en la fabricación de arcillas y barnices, dotándoles de resistencia.

El óxido de aluminio existe en la naturaleza en forma de corindón, y de esmeril. Ciertas piedras preciosas, como el rubí, el zafiro, son formas de alúmina coloreadas por indicios de óxidos de metales pesados. La alúmina se encuentra también en forma de óxidos hidratados que son los componentes de la Bauxita y de la Laterita (ésta consta principalmente de hidróxidos de aluminio y hierro, sílice y menores proporciones de otros óxidos).

El óxido de aluminio fundido y vuelto a cristalizar es idéntico en sus propiedades químicas y físicas al corindón natural. Solo le superan en dureza al diamante y algunas sustancias sintéticas, como el carburo de silicio. A temperatura ordinaria, el óxido de aluminio es insoluble en agua.

Los cristales de óxido de aluminio son hexagonales y de tamaño diminuto. Los granos de mayor tamaño se forman a partir de numerosos cristales. Su densidad es de 3.95 g/cm^3 .

La estructura de la alúmina es en forma de octaedro, en el cual 6 grupos (OH^-) o átomos de oxígeno están dispuestos de tal manera que cada uno forma un vértice de un octaedro que se mantiene unido por un átomo de aluminio en el centro. Los octaedros se encuentran unidos entre sí en una hoja o lamina conocida como hoja de alúmina u octaédrica.



ANEXO III: RESULTADOS EXPERIMENTALES

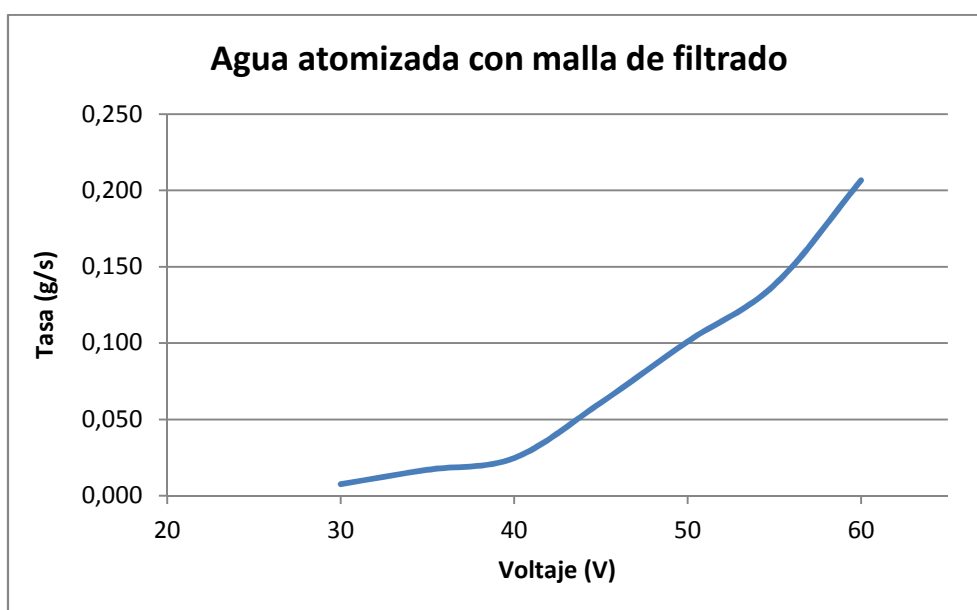
- 1) DATOS EXPERIMENTALES CON AGUA
- 2) DATOS EXPERIMENTALES CON POLIAMIDA
- 3) DATOS EXPERIMENTALES CON ALÚMINA

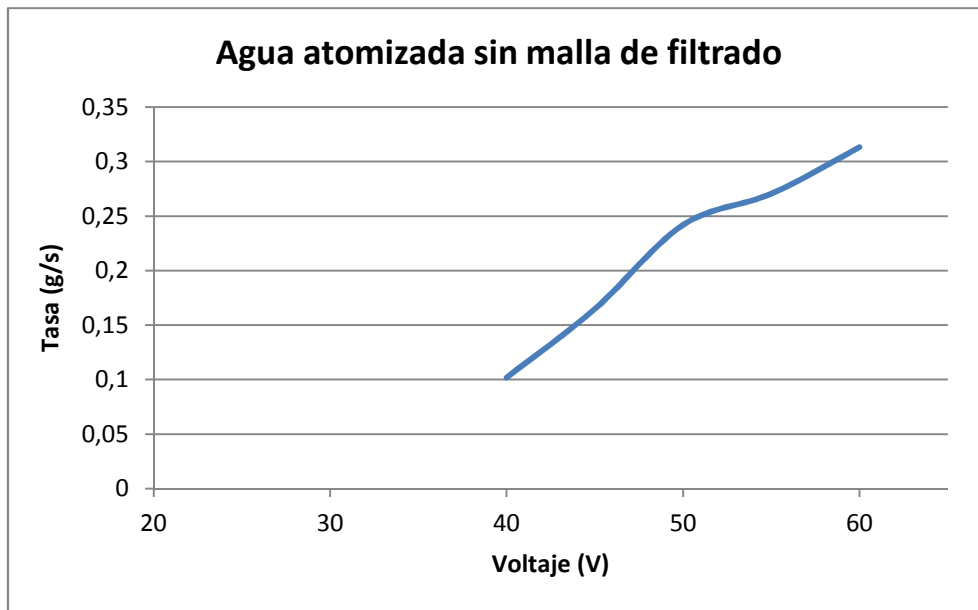
1) DATOS EXPERIMENTALES CON AGUA

Citar que la distancia del tubo de aspiración de las gotas atomizadas respecto de la superficie superior de la cubeta se mantiene constante en las experiencias, siendo 1.5 cm. El Volumen de cada experimento de atomización es aproximadamente 1 l.

De los datos registrados, las masas inicial y final corresponden al sistema cubeta+líquido. La masa de la cubeta (1345 g) está registrada en esta serie de datos.

					Con malla	Sin malla
Volt (V)	M _i (g)	M _f (g)	M _{at} (g)	T _{at} (s)	Tasa atom (g/s)	
60	2339,2	2277,2	62,0	300	0,207	0,313
55	2364,5	2323,1	41,4	300	0,138	0,270
50	2361,7	2331,4	30,3	300	0,101	0,242
45	2360,2	2341,9	18,3	300	0,061	0,165
40	2347,9	2333,1	14,8	600	0,025	0,102
35	2333,1	2322,9	10,2	600	0,017	-
30	2322,9	2316,1	6,8	900	0,007	-



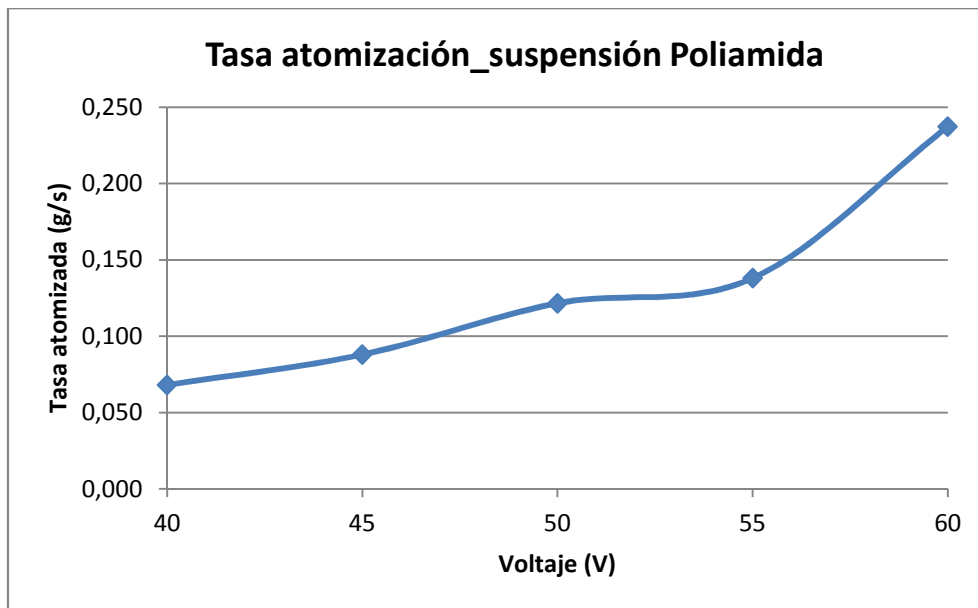


La explicación de que el barrido experimental de las tasas de atomización de agua con la malla de filtrado cubra un rango de voltajes más amplio (30 a 60 V) es que se buscaba llegar al Voltaje mínimo de atomización, y comprobar si realmente el estudio cualitativo había sido correcto.

2) DATOS EXPERIMENTALES POLIAMIDA (ORGASOL)

Concentración de Poliamida en la suspensión 0.4 g/l.

Voltaje (V)	M _{atomizada} (g)	T _{atomización} (s)	Tasa (g/s)
40	45.0	661	0.068
45	57.7	656	0.088
50	82.2	676	0.122
55	88.9	644	0.138
60	147.6	622	0.237

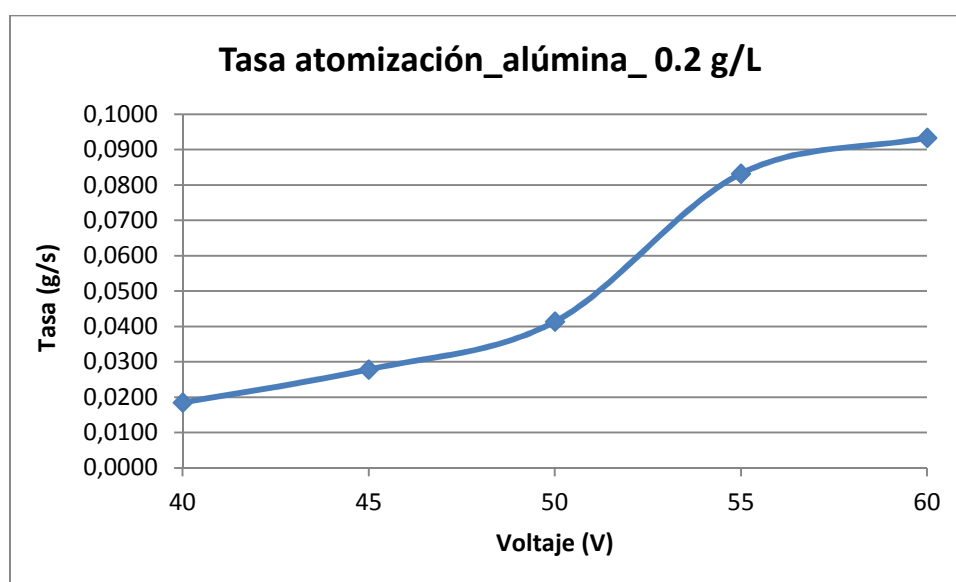


3) DATOS EXPERIMENTALES ALÚMINA

3.1) Concentración de 0.2 g/l

Ensayos correspondientes a alícuotas de 1 litro, partiendo de suspensiones de 5 litros con una masa de 1.0051 gramos de alúmina

Voltaje (V)	M _{in} (g)	M _{fin} (g)	M _{atom} (g)	T _{Atom} (s)	Tasa (g/s)
60	2343,8	2315,8	28,0	300	0,0933
55	2343,5	2317,7	25,8	310	0,0832
50	2365,2	2352,8	12,4	300	0,0413
45	2362,3	2345,6	16,7	600	0,0278
40	2359,6	2342,8	16,8	910	0,0185



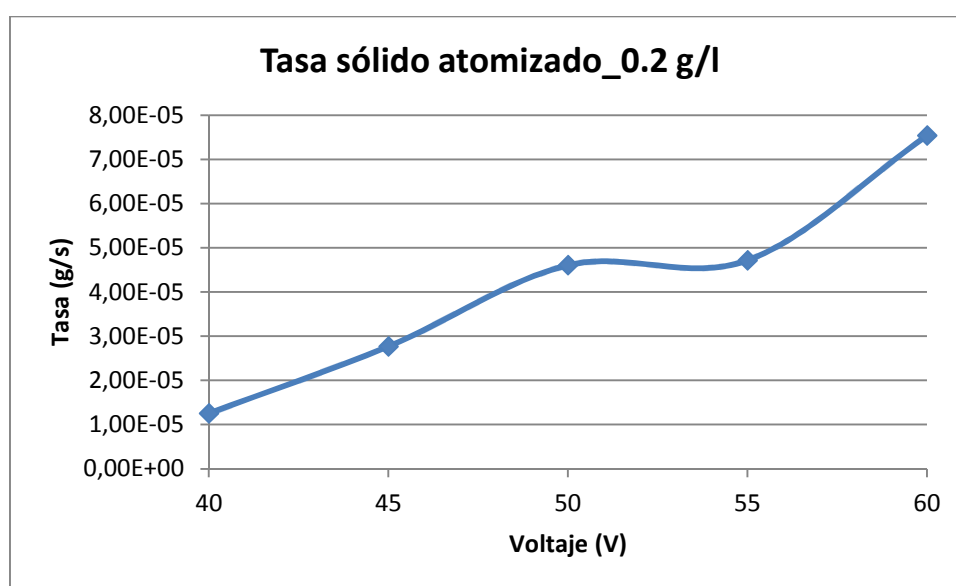
La representación corresponde a la tasa de atomización de la suspensión alúmina+agua. Se observa el sentido ascendente de tasa atomizada en función del voltaje aplicado.

Se representa a continuación la tasa de atomización de la parte sólido (alúmina) de la suspensión de 0.2 g/L. En cada muestra de 1L, debido a la homogeneidad de las suspensiones, la masa de alúmina presente es 0,2010 gramos (masa de sólido inicial en la muestra).

Se obtiene experimentalmente la masa de sólido en la muestra tras filtrar, que corresponde al sólido no atomizado. La diferencia con el sólido inicial, es el sólido atomizado.

Se acompaña la tabla de datos experimentales.

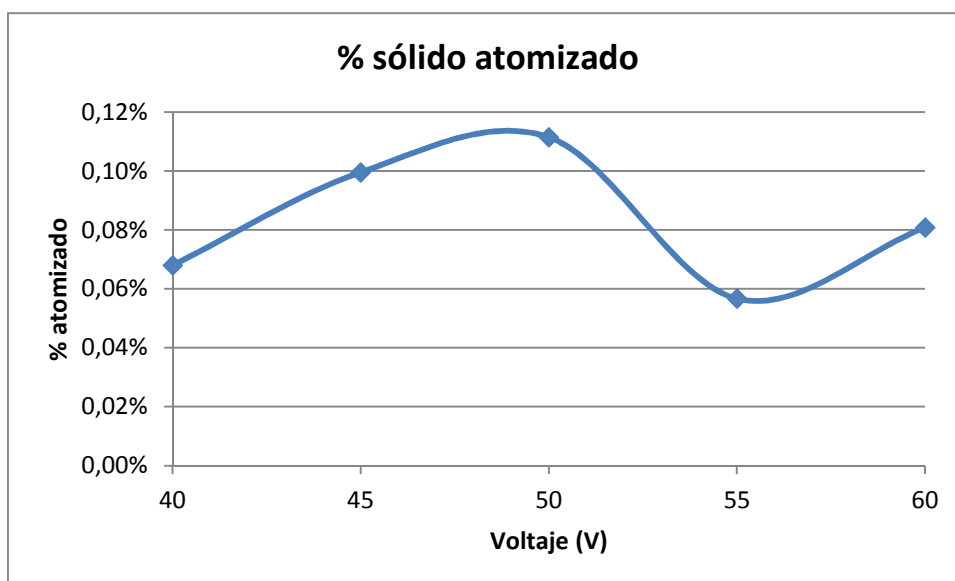
		Alícuota 250 mL	1L suspensión		
Voltaje (V)	Tasa total (g/s)	M sólido NO atomizada (g)	M sólido NO atomizada (g)	M sólido atomizado (g)	Tasa sólido (g/s)
60	0,0933	0,0446	0,1784	0,02262	0,00008
55	0,0832	0,0466	0,1864	0,01462	0,00005
50	0,0413	0,0468	0,1872	0,01382	0,00005
45	0,0278	0,0461	0,1844	0,01662	0,00003
40	0,0185	0,0474	0,1896	0,01142	0,00001



Representando individualmente la tasa de sólido atomizado en función del voltaje aplicado al sistema, se observa una tendencia ascendente en la tasa a la vez que aumenta el voltaje. Esta observación coincide con la tendencia de la tasa de atomización total (sólido+agua).

Se muestra en % de manera separada, la influencia que tienen en la sustancia atomizada el sólido y el agua.

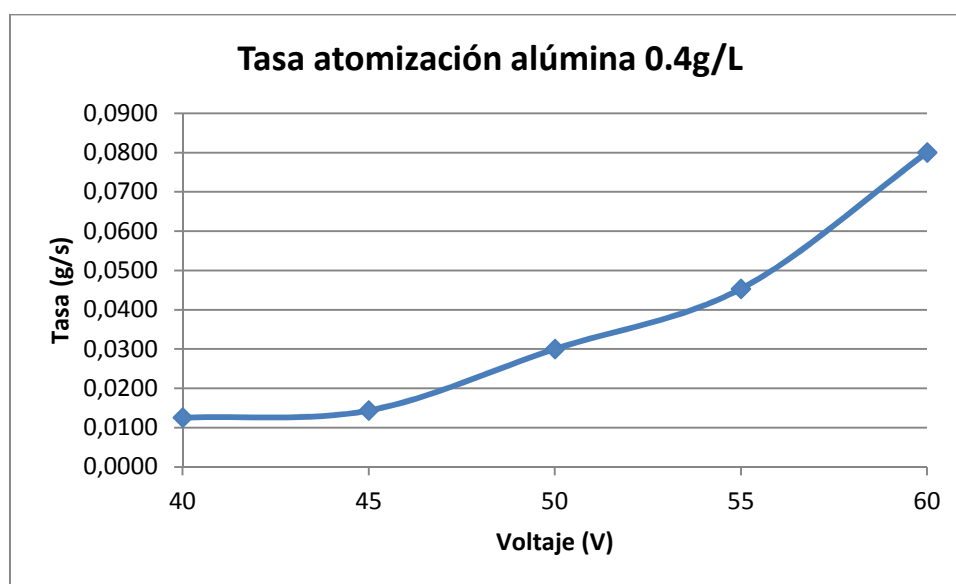
Tasa atomizada	
%sol	%agua
0,08%	99,92%
0,06%	99,94%
0,11%	99,89%
0,10%	99,90%
0,07%	99,93%



3.2) Concentración de 0.4 g/l

Ensayos correspondientes a alícuotas de 1 litro, partiendo de suspensiones de 5 litros con una masa de 2,0048 gramos de alúmina

Voltaje (V)	M _{in} (g)	M _{fin} (g)	M _{atom} (g)	T _{Atom} (s)	Tasa (g/s)
60	2365,1	2341,1	24,0	300	0,0800
55	2358,7	2345,1	13,6	300	0,0453
50	2358,3	2349,3	9,0	300	0,0300
45	2349,8	2341,2	8,6	600	0,0143
40	2353,1	2345,4	7,7	615	0,0125

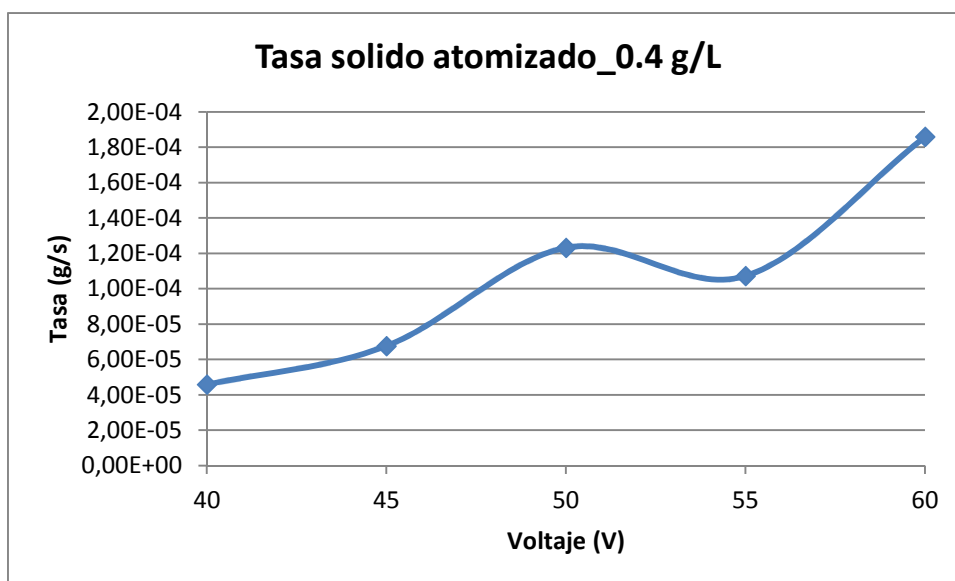


De nuevo un aumento en la tasa de atomización (alúmina+agua) en función del voltaje aplicado.

Se representa a continuación la tasa de atomización de la parte sólido (alúmina) de la suspensión de 0.4 g/L. En cada muestra de 1L, debido a la homogeneidad de las suspensiones, la masa de alúmina presente es 0,4009 gramos (masa de sólido inicial en la muestra).

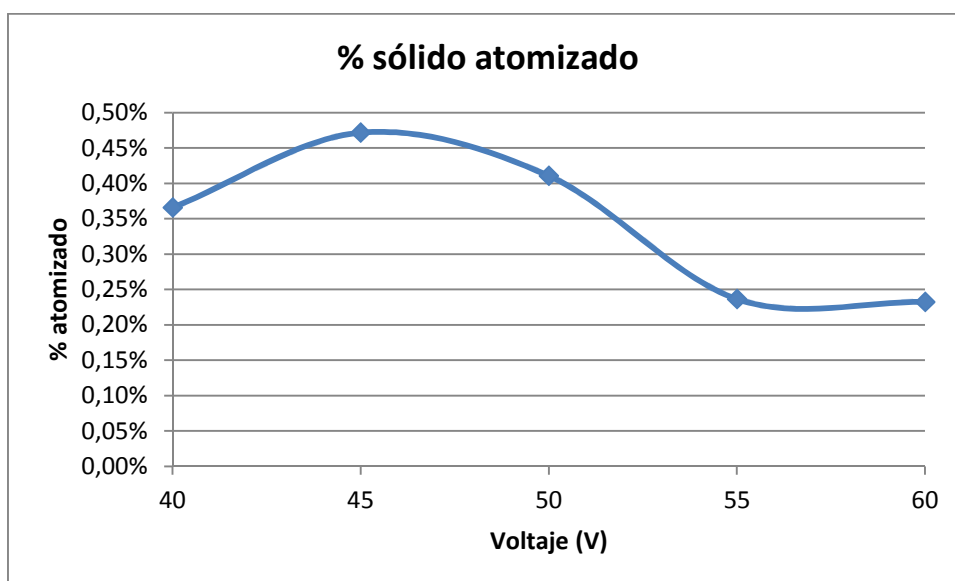
Se obtiene experimentalmente la masa de sólido en la muestra tras filtrar, que corresponde al sólido no atomizado. La diferencia con el sólido inicial, es el sólido atomizado.

		Alícuota 250 mL	1L suspensión		
Voltaje (V)	Tasa total (g/s)	M _{sólido NO atomizada} (g)	M _{sólido NO atomizada} (g)	M _{sólido atomizado} (g)	Tasa sólido (g/s)
60	0,0800	0,0863	0,3452	0,05576	0,00018587
55	0,0453	0,0922	0,3688	0,03216	0,0001072
50	0,0300	0,091	0,364	0,03696	0,0001232
45	0,0143	0,0901	0,3604	0,04056	0,0000676
40	0,0125	0,0932	0,3728	0,02816	4,5789E-05



Se muestra en % de manera separada, la influencia que tienen en la sustancia atomizada el sólido y el agua.

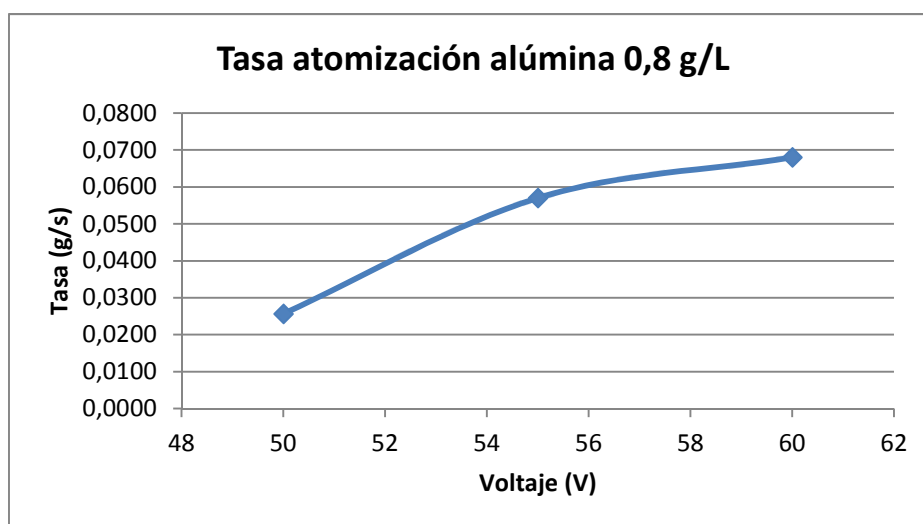
Tasa atomizada	
%sol	%agua
0,23%	99,77%
0,24%	99,76%
0,41%	99,59%
0,47%	99,53%
0,37%	99,63%



3.3) Concentración de 0.8 g/l

Ensayos correspondientes a alícuotas de 1 litro, partiendo de suspensiones de 5 litros con una masa de 3,9937 gramos de alúmina

Voltaje (V)	M _{in} (g)	M _{fin} (g)	M _{atom} (g)	T _{Atom} (s)	Tasa (g/s)
60	2401,2	2380,8	20,4	300	0,0680
55	2412,7	2395,6	17,1	300	0,0570
50	2351,6	2343,9	7,7	300	0,0257

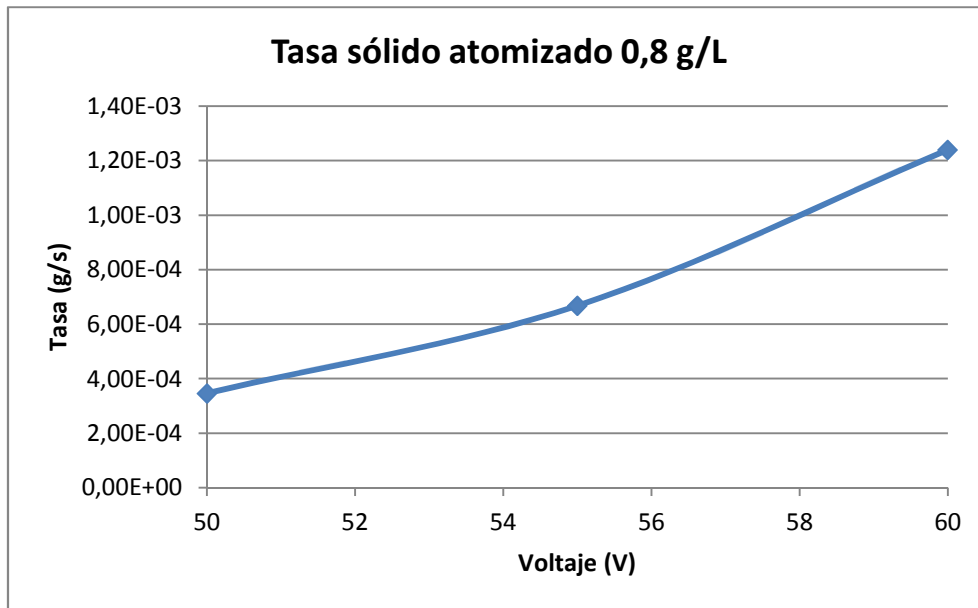


De nuevo un aumento en la tasa de atomización (alúmina+agua) en función del voltaje aplicado. En este caso no se observaba atomización en voltajes inferiores a 50 V, es por ello que se decide tomar ese valor como Voltaje mínimo de atomización para la concentración de 0.8 g/l.

Se representa a continuación la tasa de atomización de la parte sólido (alúmina) de la suspensión de 0.8 g/L. En cada muestra de 1L, debido a la homogeneidad de las suspensiones, la masa de alúmina presente es 0,7987 gramos (masa de sólido inicial en la muestra).

Se obtiene experimentalmente la masa de sólido en la muestra tras filtrar, que corresponde al sólido no atomizado. La diferencia con el sólido inicial, es el sólido atomizado.

		Alícuota 250 mL	1L suspensión		
Voltaje (V)	Tasa total (g/s)	M _{sólido NO atomizada} (g)	M _{sólido NO atomizada} (g)	M _{sólido atomizado} (g)	Tasa sólido (g/s)
60	0,0680	0,1067	0,4268	0,37194	0,0012398
55	0,0570	0,1496	0,5984	0,20034	0,0006678
50	0,0257	0,1737	0,6948	0,10394	0,00034647



Se muestra en % de manera separada, la influencia que tienen en la sustancia atomizada el sólido y el agua.

Tasa atomizada	
%sol	%agua
1,82%	98,18%
1,17%	98,83%
1,35%	98,65%

